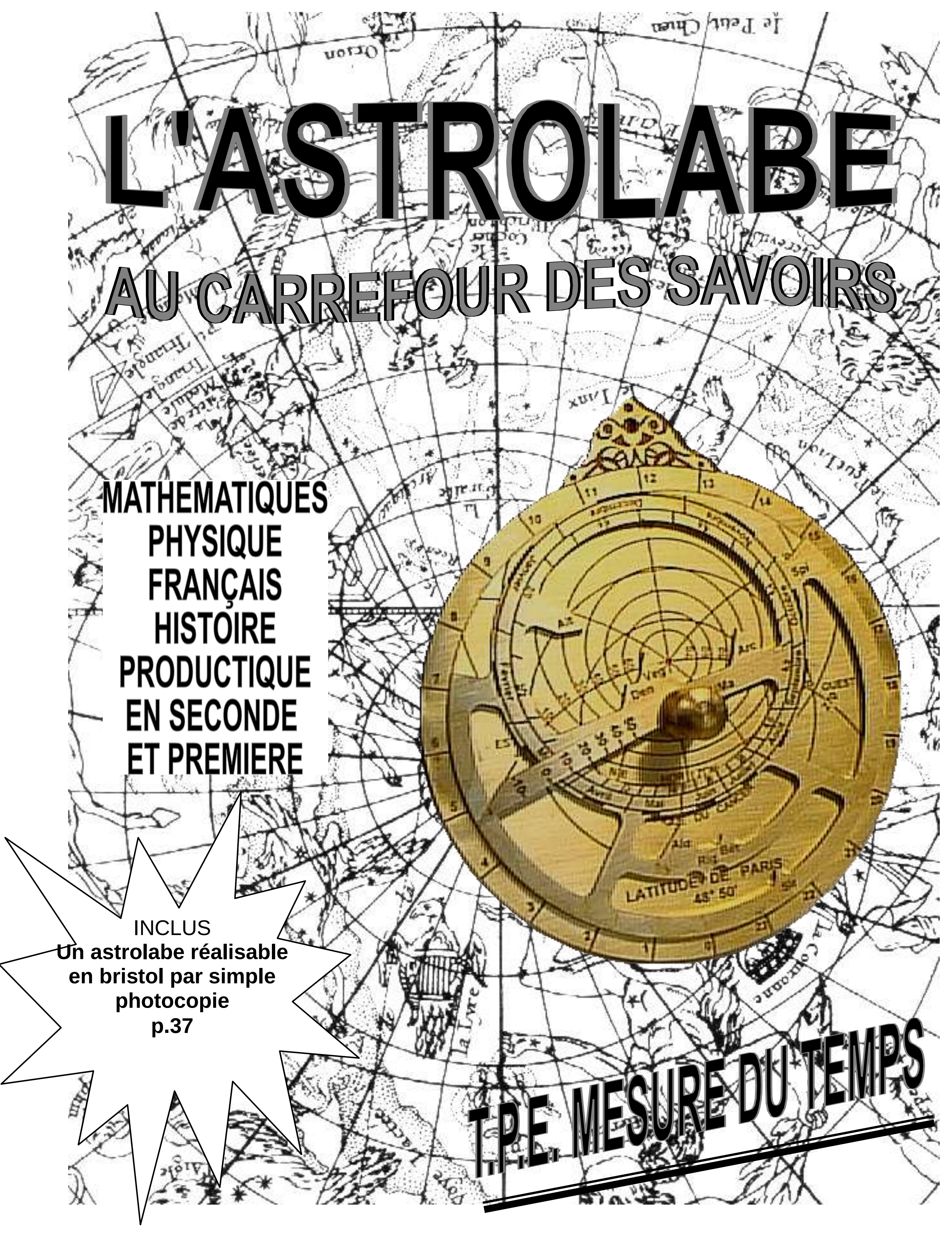


ACADEMIE DE CRETEIL
Mission pour l'innovation et la valorisation des réussites

I.R.E.M.
Institut Galilée
av. J.B. Clément
93430 VILLETANEUSE

Université Paris Nord – I.R.E.M.

L'ASTROLABE AU CARREFOUR DES SAVOIRS

256 pages

Dépôt légal : 4ème trimestre 2000

Cette brochure a été réalisée dans le cadre d'une convention entre *l'IREM de Paris-Nord* et la mission académique "*Innovation et valorisation des réussites*" du *rectorat de Créteil*.

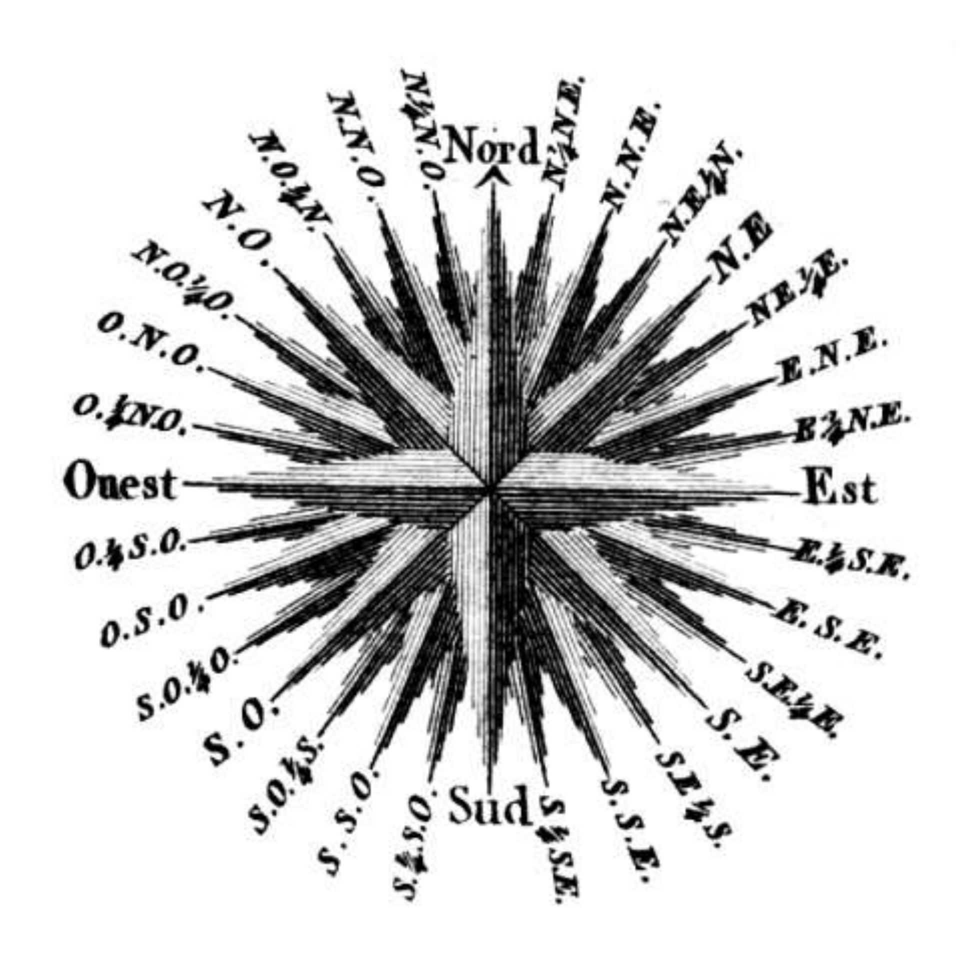
Les enseignants participant à la rédaction de ce document ont bénéficié d'un financement de la mission académique "Innovation et valorisation des réussites" du rectorat de Créteil.

Les auteurs de cette brochure enseignent au **lycée *E. Branly* de *Créteil***,

Valérie BLANC	Français
Thierry BOUCHER	Physique et astronomie
Gérard DELAFORGE	Productique
Philippe DUTARTE	Mathématiques et coordination du document
Agnès PRADALIER	Histoire

avec la participation de :

Ahmed DJEBBAR
Université Paris-Sud


Nord
Est
Sud
Ouest
N.E
S.E.
S.O.
N.O.
N.N.E.
E.N.E.
E.S.E.
S.S.E.
S.S.O.
O.S.O.
O.N.O.
N.N.O.

Sommaire thématique

Boussole pour leuer les Cartes .

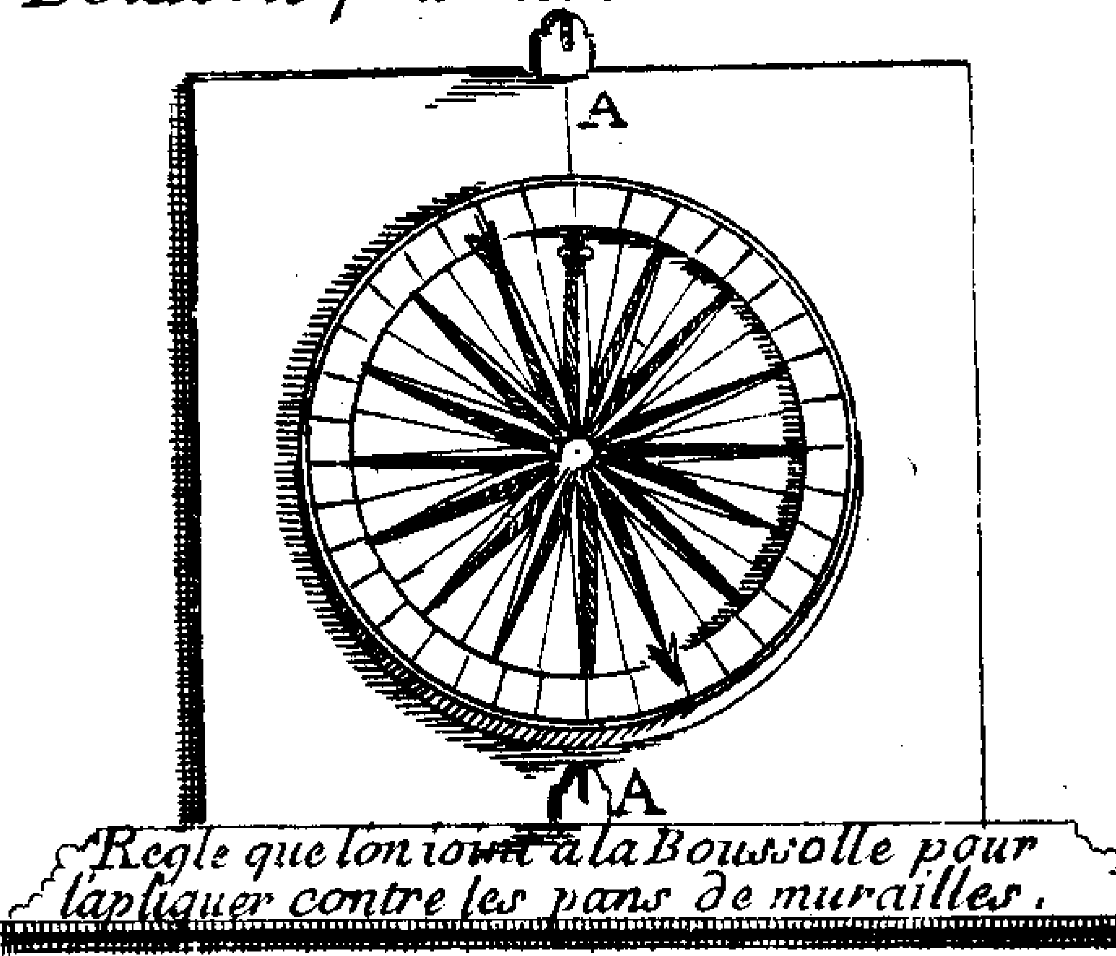


Table par matières

LA

LOGIQUE,

OU

L'ART DE PENSER,

CONTENANT,

Outre les Regles communes,

PLUSIEURS OBSERVATIONS
nouvelles, propres à former
le jugement.

Nouvelle Edition, revue & corrigée.



A PARIS,
Chez HUMBLOT, Libraire, rue S. Jacques,
entre la rue du Plâtre & la rue des Noyers,
près S. Ives.

M. DCC. LXIII.
Avec Privilege du Roi.

"La logique de Port-Royal"
Antoine Arnauld
Pierre Nicole
Première édition en 1662

& c'eſt une choſe entiérement ridicule, que les gênes que ſe donnent certains Auteurs, comme Ramus & les Ramiſtes, quoique d'ailleurs fort habiles gens, qui prennent autant de peine pour borner les juriſdictions de chaque ſcience, & faire qu'elles n'entreprennent pas les unes ſur les autres, que l'on en prend pour marquer les limites des Royaumes, & régler les reſſorts des Parlemens.

INTRODUCTION

Pourquoi l'astrolabe ?

A mesure de l'avancement de notre travail avec les élèves, l'astrolabe nous est apparu être un thème interdisciplinaire extraordinairement riche, créant une dynamique qui nous a mené bien au-delà de notre objectif premier. Il s'agit d'abord d'un merveilleux objet, autant scientifique qu'artistique, chargé d'histoire, dont le charme quelque peu ésotérique donne immédiatement envie d'en savoir plus.
Par la suite, on se rend compte que l'étude mathématique théorique qui en permet la construction, ne peut se comprendre que si on l'inscrit dans une vision générale de l'Univers (le modèle de Ptolémée), résultat d'une longue évolution historique aux nombreuses implications sociologiques et culturelles.

Contenu de cette publication

La plupart des activités proposées ne nécessitent pas la possession d'un astrolabe.
On pourra tout à fait se contenter d'une maquette en bristol, éventuellement reproduite par photocopie.
Les activités s'adressent à des élèves de seconde, parfois de première.

Dans chacun des domaines (Français, Histoire, Mathématiques, Physique, Productique) :

- ***Des activités élèves*** : travaux de recherche documentaire ou travaux pratiques prêts à être reproduits et utilisés en classe.
- ***Des corrigés et compte-rendus*** du travail fait en classe, accompagnent généralement les activités élèves.
- ***Des synthèses pour l'enseignant*** permettent de situer dans un contexte plus large les activités précédentes ou sont susceptibles d'exposés plus magistraux.

Objectifs pédagogiques

- Favoriser la réalisation d'un ***réel travail interdisciplinaire***, tout au long de l'année, permettant aux élèves de mieux mesurer le rôle et l'intérêt de chaque matière enseignée sans qu'elles soient vécues isolément.
- Mettre en évidence ***l'unité de nos savoirs*** autour d'un objet dont on montrera combien il mêle théorie, technologie et culture.
- Montrer que nos connaissances scientifiques et technologiques résultent d'une évolution longue qui s'est construite autour d'enjeux sociaux, politiques ou religieux. Introduire une ***perspective historique et culturelle*** dans la présentation des sciences et techniques, montrant la remise en cause permanente des connaissances scientifiques, ce qui est la définition même du progrès.
- Aborder de manière ***concrète***, par la construction d'un instrument avant tout pratique (avec le but de s'en servir) des notions théoriques parfois ambitieuses. Rendre les élèves davantage ***acteurs*** de la construction de leur savoir en leur donnant un objectif tangible.

Objectifs par matières

Français :

L'étude du groupement de textes doit permettre, à partir de l'utilisation scientifique de l'astrolabe, d'aborder le problème plus général des représentations de l'Univers et d'envisager les enjeux culturels, intellectuels, voire philosophiques, de ces démarches. De plus, à partir de ces données, on invitera les élèves, d'une part à la lecture d'une oeuvre et, d'autre part, à produire eux-mêmes un texte argumentatif. Cette séquence s'inscrit donc dans l'esprit du nouveau programme de seconde (2000), en croisant les trois rubriques suivantes : ***Genres et registres, Argumentation, Histoire littéraire et culturelle***.

Histoire – Géographie :

Nous étudierons particulièrement l'histoire des ***représentations de l'Univers et du temps*** : Comment les idées ont progressé pour comprendre la place de la Terre dans l'Univers et pour établir un calendrier. Puis, comment des connaissances théoriques exposées par Ptolémée au IIe siècle ap. J-C ont été traduites au IXe siècle par les Arabes qui réaliseront des instruments remarquables de Bagdad à Cordoue, notamment au XIIe siècle, puis plus tardivement au XVIe siècle dans l'Inde musulmane.
Ceci rejoint deux thèmes importants du programme d'histoire de seconde : ***« Les trois cultures méditerranéennes au XIIe siècle »*** et ***« la nouvelle place de l'Homme et sa nouvelle vision du monde à la Renaissance »***.

Mathématiques :

Il s'agit d'acquérir et d'illustrer de façon concrète des notions théoriques en rapport avec la *géométrie dans l'espace* (projection stéréographique), la *trigonométrie*, les différentes façons de *se repérer* dans le plan et dans l'espace. Les notions de *fonction,* l'utilisation de la *calculatrice* et du *tableur*, seront sollicitées.
L'acquisition de ces notions est motivée et soutenue par la réalisation en parallèle d'une maquette d'astrolabe en papier bristol, au fur et à mesure de l'avancement de la théorie.
Les élèves connaîtront ainsi les principes et l'utilisation de l'instrument pour la détermination de l'heure la nuit, des levers et couchers du Soleil…
Les travaux proposés sont des "activités élèves", sous différentes formes, qui trouvent leur place dans le programme de mathématiques des classes de seconde, ou parfois au niveau de la classe de première S.
Les problèmes abordés portent sur l'astrolabe ou ses présupposés théoriques (image, mesure et harmonie de l'Univers, notion de temps ...) et ont pour but de donner du sens et de l'intérêt aux outils mathématiques développés pour les résoudre.

Physique – Chimie :

Il s'agit, en montant un réel projet interdisciplinaire, de montrer qu'une théorie se met en place dans le temps et que la pensée scientifique se construit époque après époque. L'histoire des sciences nous permet de montrer que la science n'est pas rigide mais a évolué, et évolue encore, au cours du temps.
On désire exploiter la curiosité scientifique des élèves. Après les succès des couvertures médiatiques de quelques événements liés à l'espace (sondes spatiales sur Mars, nuits des étoiles filantes, station orbitale ...), la demande d'explications de la part des élèves est importante : il faut y répondre !
On souhaite donner des notions d'astronomie :

- connaître le système solaire,

- savoir faire la différence entre étoile, planète, satellite, galaxie ...

On utilise le projet pour mettre en valeur certains points du programme de seconde.

Le programme de seconde, de cette année 1999/2000 n'aborde pas directement l'astronomie, seule la partie concernant la lumière peut être utilisée pour ce projet. Ainsi, l'essentiel des interventions s'est effectué en dehors des heures de cours de sciences physiques. De plus, tout formalisme mathématique a été gommé des différents exposés faits devant la classe. Seule une discussion a été faite sur l'expression de l'intensité de la force de gravitation.

A partir de la rentrée 2000, l'astronomie est présente dans le nouveau programme, et ***ce projet s'y intègre parfaitement***. De nombreuses activités proposées par le GTD de physique-chimie peuvent s'y insérer, nous le verrons dans la partie sur les travaux pratiques.

Enfin l'utilisation de cassettes vidéo, de diapositives, d'observations au télescope ou aux jumelles ont contribué à faire passer des notions d'astronomie souvent difficiles.

Le thème de l'astrolabe permet de mettre en valeur certains points du programme de physique–chimie de seconde comme ***« les éléments chimiques de l'Univers »*** et ***« la lumière »***.

L'étude historique des modèles de l'Univers sensibilise les élèves à ***l'évolution des idées*** en ***mécanique*** et situent dans leur contexte les théories scientifiques.

Bien que le programme de seconde n'aborde pas directement l'***astronomie***, on peut répondre à la curiosité des élèves dans ce domaine, en accompagnant les informations théoriques d'une pratique sur le terrain. Et ce d'autant plus que les questions d'astronomie ont été un moteur dans l'avancement des théories de la physique.

Productique :

Les enseignants concernés organisent la programmation de la machine à commande numérique que les élèves utilisent par la suite.

Au second et au troisième trimestre, les élèves de seconde en binômes, fabriquent par étapes successives toutes les pièces de l'astrolabe (la matrice, le tympan et l'araignée) en laiton. Ils découvrent ainsi toutes les ***étapes du processus de fabrication*** d'un objet.

Ceci correspond aux savoir faire qui doivent être dispensés en cours de productique.

Les consignes de l'inspection nous demandent, en Productique, de faire vivre à nos élèves de seconde ***un scénario réel de production portant sur un produit cohérent et motivant***.

Le choix a été fait de réaliser un " bel objet ", ce qui nous a conduit à choisir un matériau traditionnel mais relativement onéreux.

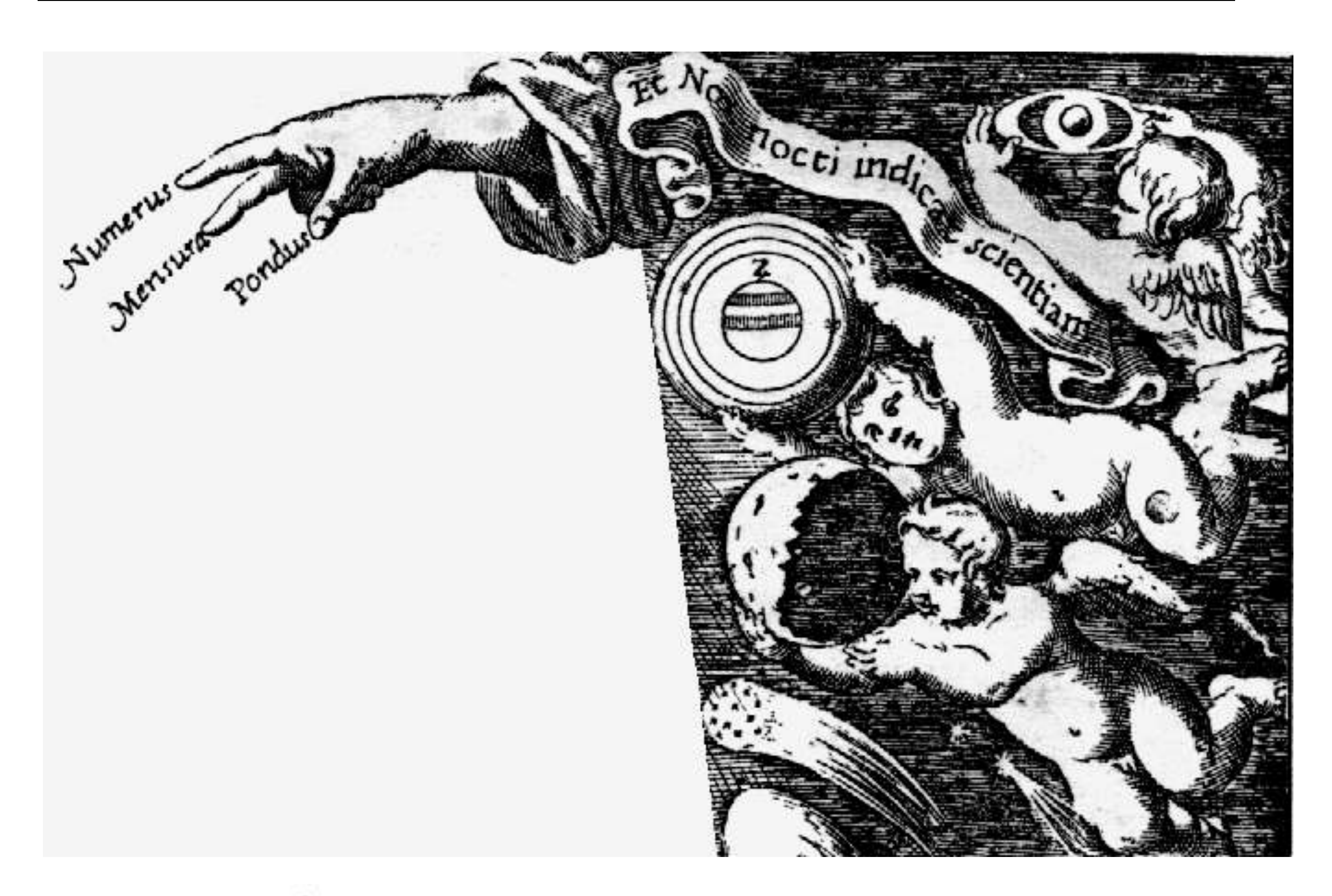
Un premier bilan

Le but ultime de notre action, qui était de décloisonner les savoirs de nos élèves, d'ouvrir leur esprit et d'aiguiser leur curiosité, est, dans une large mesure, atteint. Chaque enseignant du projet a souvent, dans le cadre de son cours, fait appel à des connaissances, dont il savait qu'elles avaient été dispensées dans un autre cours (même si c'était plusieurs semaines plus tôt). Les élèves sont alors très heureux de montrer ce qu'ils savent, et, ainsi valorisés, avec un peu le sentiment d'en savoir au moins autant que l'enseignant qu'ils ont devant eux, sur un terrain où il n'est pas spécialiste, participent activement aux activités proposées. Il est même arrivé, à plusieurs reprises, qu'ayant à ce point gommé les frontières, les élèves confondent quelque peu le prof d'histoire avec le prof de maths ou celui-ci avec le prof de physique, posant des questions pour lesquelles on a préféré renvoyer au spécialiste attitré. Mais cela ne pouvait que renforcer le va-et-vient entre les matières.

Il faut aussi souligner les intérêts "humains" de notre entreprise : en effet, les élèves voient se constituer et "fonctionner" une équipe de professeurs vraiment soucieux de travailler ensemble et qui ont besoin du travail de leurs collègues pour dynamiser leur propre progression. Les élèves à qui on demande de fonctionner avant tout comme un groupe, et non comme une somme d'individus, semblent tirer profit de l'exemple que constitue à cet égard, une équipe de professeurs ayant un projet commun.

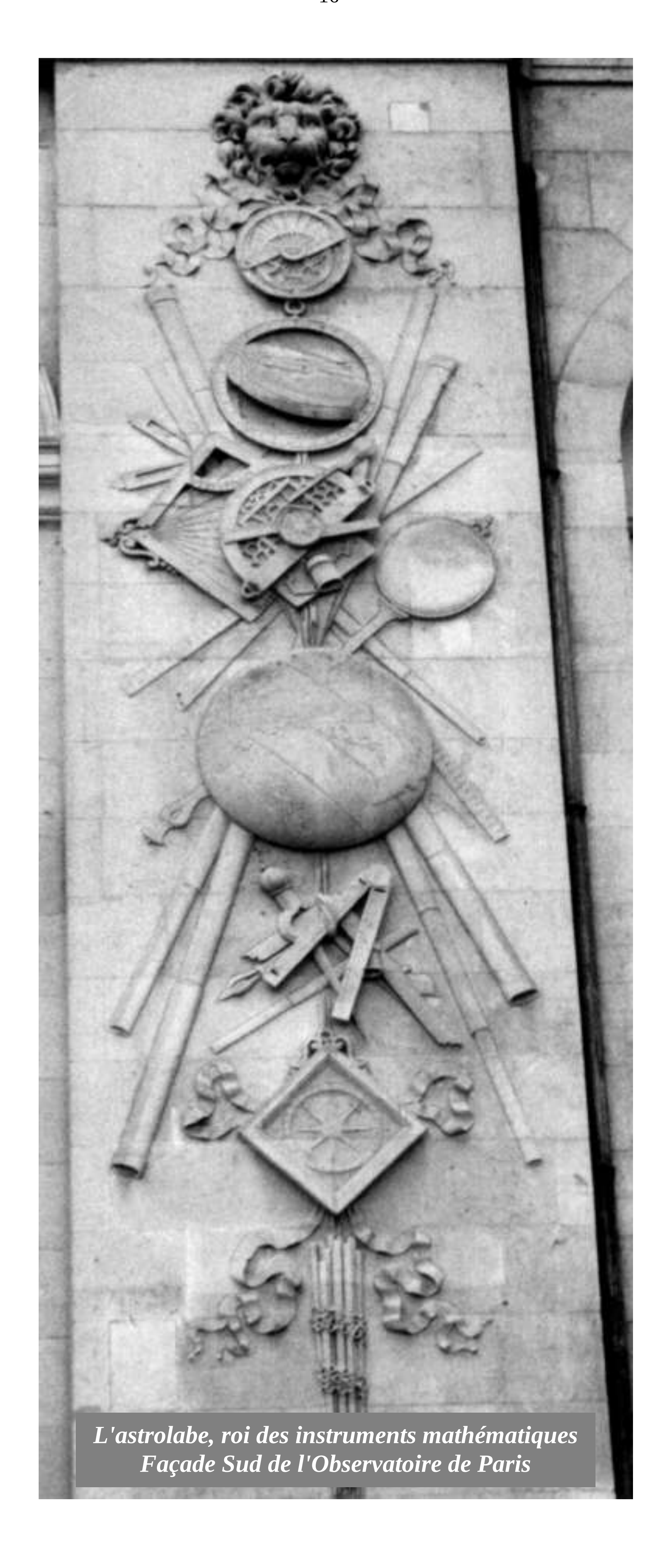


I – PRESENTATION ET PRINCIPE DE L'ASTROLABE PLANISPHERIQUE



L'*Aſtronomie* eſt de toutes les ſciences, celle qui nous préſente le tableau le plus grand, le plus ſublime, le plus digne d'occuper l'eſprit humain, par la nobleſſe & l'immenſité de ſes objets. Auſſi les plus grands philoſophes de l'antiquité parlèrent de l'*Aſtronomie* avec admiration. Laërce raconte qu'on demandoit à Anaxagore pour quel objet il étoit né; il répondit que c'étoit pour contempler les aſtres. S'il y a dans cette réponſe de l'exagération en faveur de l'*Aſtronomie*, on y voit au moins l'enthouſiaſme avec lequel un homme de génie contemploit le ſpectacle du ciel.

Extrait de l'article ASTRONOMIE de l'Encyclopédie Diderot D'Alembert



L'astrolabe, roi des instruments mathématiques
Façade Sud de l'Observatoire de Paris

PRESENTATION DE L'ASTROLABE

Qu'est-ce qu'un astrolabe ?

Le *"roi des instruments mathématiques"* est un concentré de connaissances. Il représente rien de moins que l'Univers et permet de "prendre les astres" (c'est l'étymologie grecque de son nom), pour donner l'heure, s'orienter, calculer et prévoir des phénomènes astronomiques et par là même... dresser un horoscope. Bien sûr, tout cela demande un peu d'initiation, mais la beauté de l'instrument, le charme de ses tracés compliqués, est immédiat.



Vue de face : sur la matrice repose un tympan, surmonté de l'araignée mobile et d'un index.

Pour "prendre les étoiles", on tient l'instrument verticalement. Au dos de l'astrolabe, une tige , nommée *alidade* (*al-idada* = la pièce forgée en arabe) et munie de deux œilletons, les *pinnules,* permet de viser un astre pour en déterminer la hauteur (angle mesurant son altitude).
Cette mesure étant faite, on prend, à plat, l'astrolabe côté face, pour obtenir, par rotation des pièces, l'information souhaitée (l'heure par exemple). Le simple mécanisme de l'instrument remplace tout calcul.
Au fond de l'appareil, le *tympan* est gravé de lignes et de cercles correspondant à l'horizon et aux coordonnées locales d'observation. *L'araignée* est la pièce ajourée, mobile au-dessus du tympan. Ses pointes représentent les étoiles les plus brillantes. L'étoile polaire (fixe dans le ciel) est au centre de l'araignée. En faisant pivoter l'araignée autour de ce centre, on figure le mouvement apparent des étoiles durant la nuit (la Terre est supposée fixe). On fait ainsi tourner l'araignée de façon à reproduire l'aspect du ciel à l'instant de l'observation. Il suffit alors, par exemple, d'amener l'aiguille (ou *index*) en face de la date du jour, pour lire sur le bord (*limbe*) l'heure de l'observation.

Les origines grecques

Riche de près de 20 siècles, l'histoire de l'astrolabe est un exemple remarquable des échanges culturels des portes de l'Inde à celles de l'Atlantique.
Le principe de l'astrolabe repose sur le procédé mathématique de la *projection stéréographique* de la sphère (des étoiles) sur le plan (de l'équateur). Celui-ci est certainement dû à *Apollonius de Perge*, mathématicien du IIIe siècle av. J.-C., mais c'est le grand astronome *Hipparque* qui, vers 150 av. J.-C., le perfectionna et l'utilisa en astronomie.

Vers 150 ap. J.-C., *Ptolémée* donne, à Alexandrie, la description d'un "instrument horoscopique" très voisin de l'astrolabe. La première description de l'astrolabe planisphérique tel que nous le connaissons (et qui nous soit parvenue) est celle de *Jean Philoppon* qui vécu à Alexandrie vers 550 ap. J.-C..



Les chefs-d'œuvre arabes

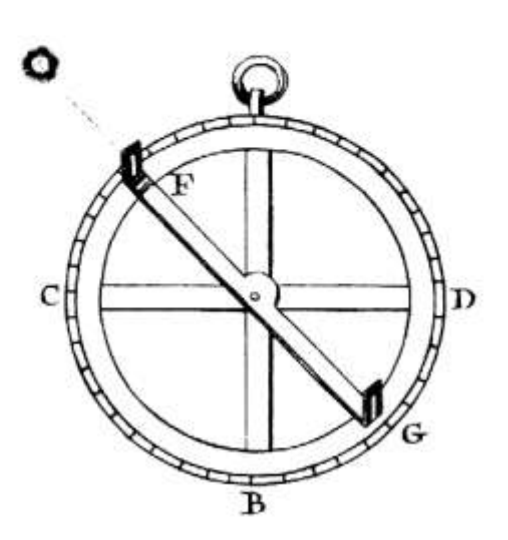
L'astrolabe fut introduit dans le monde islamique au VIIIe siècle, à travers les traductions des textes grecs. Il y connut un très grand succès dès le IXe siècle, où l'on fabriquait déjà de véritables chefs-d'œuvre. Il permet en effet, en particulier, de déterminer les heures des prières. On en perfectionna le principe pour s'orienter dans le désert ou trouver la direction de La Mecque. L'astrologie fut également une des principales utilisations de l'astrolabe.
Aux Xe et XIe siècles, l'Espagne musulmane fut un important foyer d'études astronomiques et de réalisation d'astrolabes, puis le Maroc et en particulier Marrakech et Fès aux XIIe et XIIIe siècles.
Les astrolabes perses et indiens deviennent de véritables œuvres d'art.

L'introduction de l'astrolabe en occident



Les monastères chrétiens du nord de l'Espagne (Catalogne) jouèrent un rôle important dans l'introduction de l'astrolabe en occident. Si son principe fut ainsi connu dès le XIe siècle, son utilisation ne fut importante qu'à partir du XIIIe siècle.
Sur les premiers modèles d'astrolabe importés d'Espagne, des mots latins furent gravés à côté des originaux arabes. C'est ainsi que nombre d'étoiles portent encore, en français, leur nom d'origine arabe : Altaïr, Vega, Deneb...
L'astrolabe connu son pic de popularité à la fin du moyen âge et à la renaissance. Il était utilisé dans l'université médiévale pour l'enseignement de l'astronomie.
Au XVIe siècle, un modèle d'astrolabe universel, pour toutes les latitudes, est mis au point. Ce siècle voit aussi la vogue des horloges astrolabiques dont le mécanisme entraîne la rotation de l'araignée, montrant ainsi l'aspect du ciel.

L'astrolabe nautique portugais



Face à leurs nouveaux besoins de navigation en haute mer, les Portugais, sous l'impulsion de *Jean II*, développèrent , à la fin du XVIe siècle, la navigation astronomique, avec en particulier la mesure de la latitude à l'astrolabe. On fabriqua des astrolabes spécifiques aux besoins de la navigation, plus simples et plus lourds, pour résister aux vents et aux mouvements du bateau, et qui se fixaient au grand mât. L'astrolabe permettait aussi d'observer la position de la lune par rapport aux étoiles et d'en déduire la longitude à l'aide de tables.

Déclin de l'astrolabe

Aux XVIe et XVIIe siècles, les horloges pouvaient avancer ou retarder d'un quart d'heure par jour. On utilisait alors, pour les régler, soit un cadran solaire, soit un astrolabe. Les progrès réalisés dans la construction des horloges ont été l'une des causes du déclin de l'astrolabe au XVIIIe siècle, dans le monde occidental. L'introduction de la visée optique de l'octant puis du sextant, le remplaça également à cette époque, pour les besoins de la navigation.
Il était cependant toujours utilisé au début de ce siècle au Maroc (en particulier à la mosquée Qarawiyine de Fès) pour déterminer le début du ramadan, et ses vertus pédagogiques sont, comme nous le verrons, toujours intactes ...

Où voir des astrolabes ?


Un des astrolabes présentés à l'Institut du Monde arabe

• *En France* :
La plus belle collection d'astrolabes (et la mieux présentée) est sans conteste celle de l'***Institut du Monde Arabe*** à Paris (métro Jussieu), dans les collections permanentes de son musée. Egalement à Paris, des astrolabes sont présentés au ***Musée des Arts et Métiers*** (métro Arts et Métiers).
Au nord de Paris, le ***musée de la Renaissance du château d'Ecouen*** montre plusieurs astrolabes, parmi des cadrans solaires et des pièces d'horlogerie.
A Toulouse, le ***musée Paul-Dupuy*** possède une belle collection.
• *A l'étranger* (mais on peut aussi voyager par Internet...) :
A Florence, l'***Instituto e museo di storia della scienza*** présente une remarquable collection d'astrolabes, ainsi que les instruments de Galilée.
Le ***musée d'histoire des sciences d'Oxford*** est d'un richesse exceptionnelle.

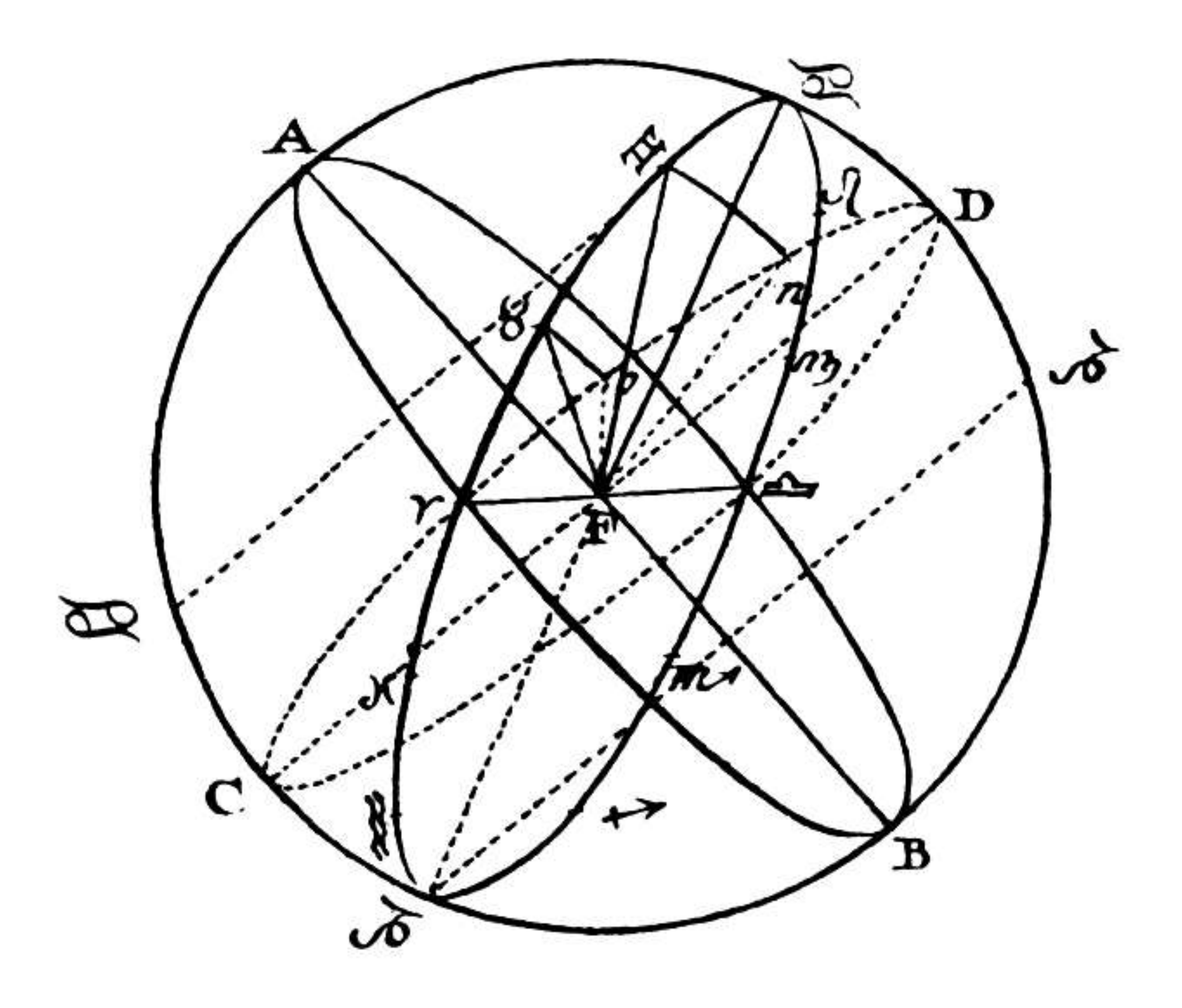


Figure de l'Encyclopédie de Diderot et D'Alembert 1767

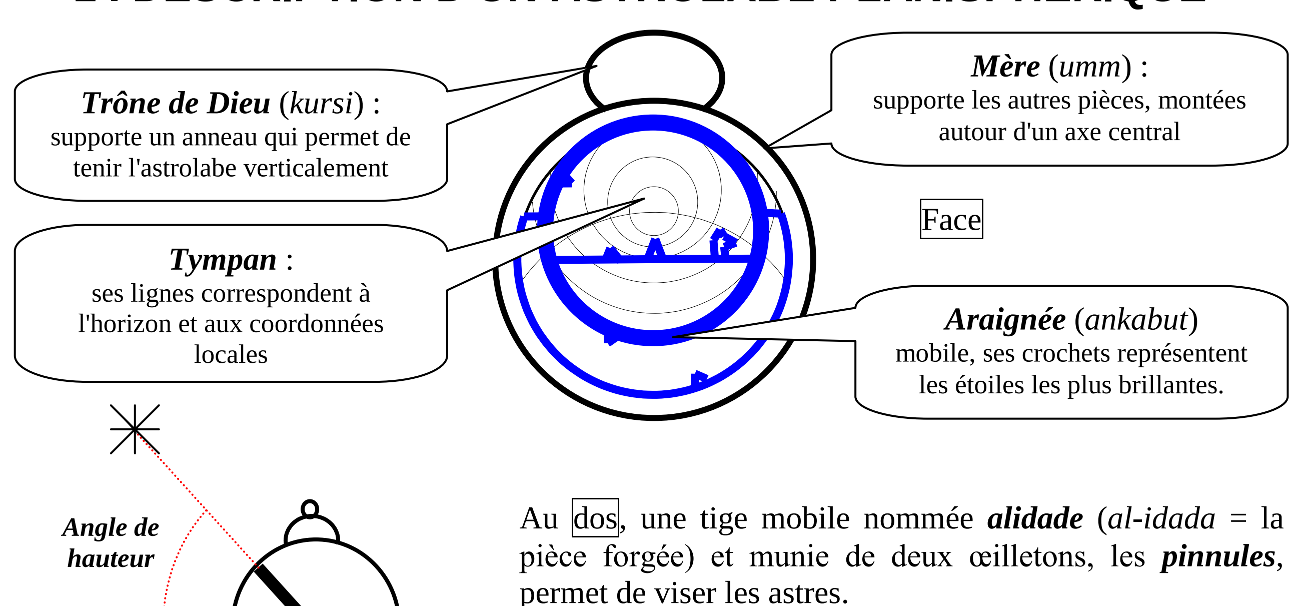
PRINCIPE DE L'ASTROLABE
PROJECTION STEREOGRAPHIQUE



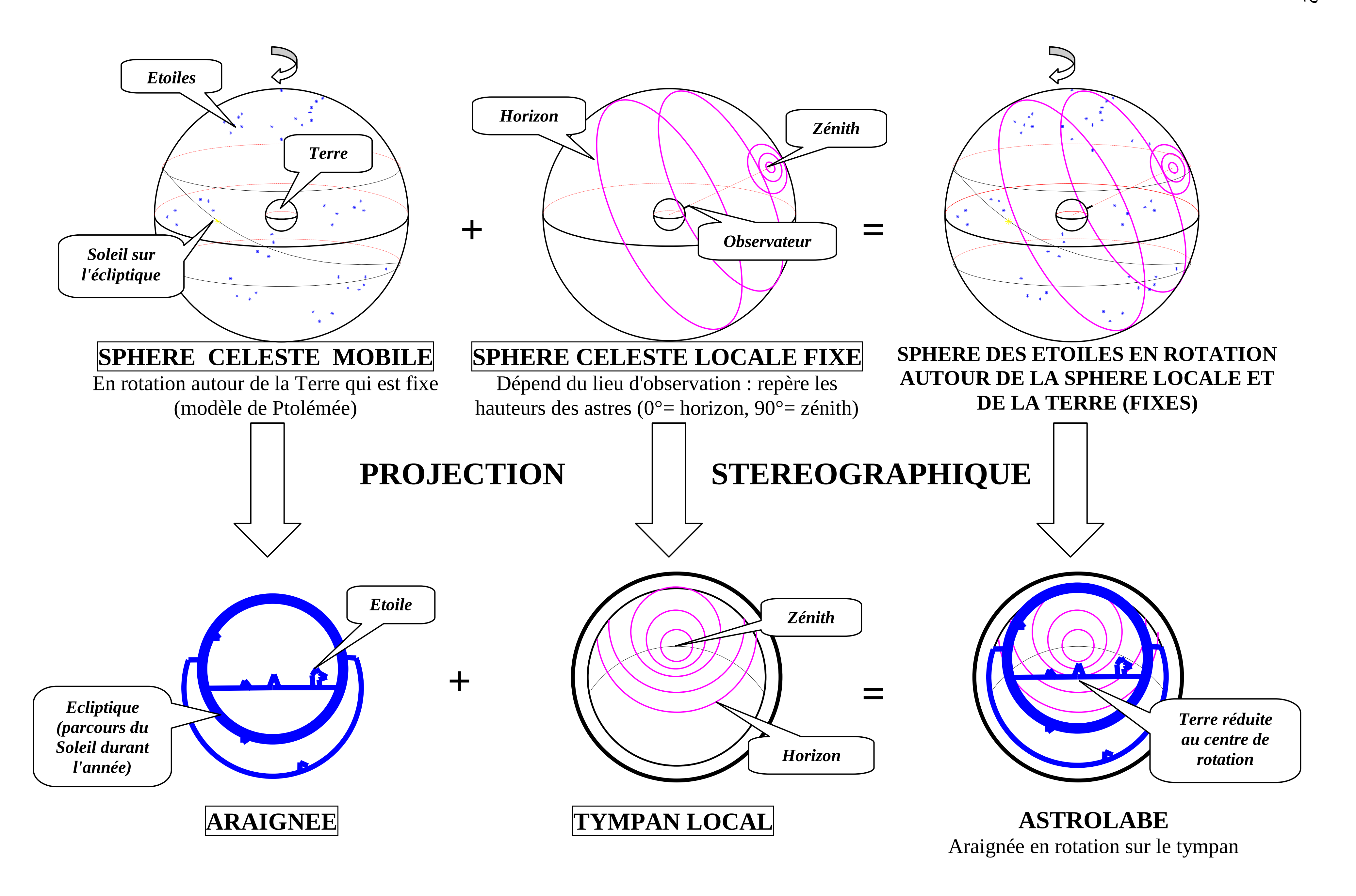
Astrolabe arabe du IXe siècle
(c'est le plus ancien conservé dans le monde)
Bibliothèque nationale de France

Astrolabe signifie en grec ***"preneur d'étoiles"***. C'est un instrument ancien qui permet des calculs astronomiques, par le mouvement d'une "carte" des étoiles les plus brillantes du ciel, par rapport aux lignes permettant de les situer depuis le lieu d'observation.
Son principe est décrit par le grec ***Ptolémée***, à *Alexandrie* au IIe siècle après J.-C.
L'astrolabe connu ensuite un très grand succès dans le ***monde Arabe*** à partir du IXe siècle, où l'on fabriqua de véritables chefs-d'œuvre.
Il permettait en particulier de déterminer l'heure des prières, les instants de lever et de coucher du soleil, de trouver la *qibla* (direction de la Mecque) ...
L'astrolabe, introduit en occident par l'Espagne musulmane, sera utilisé jusqu'au XVIIe siècle.
Son déclin est dû aux progrès des horloges mais il demeure un magnifique objet, témoin de l'ingéniosité de l'esprit humain.

1 . DESCRIPTION D'UN ASTROLABE PLANISPHERIQUE



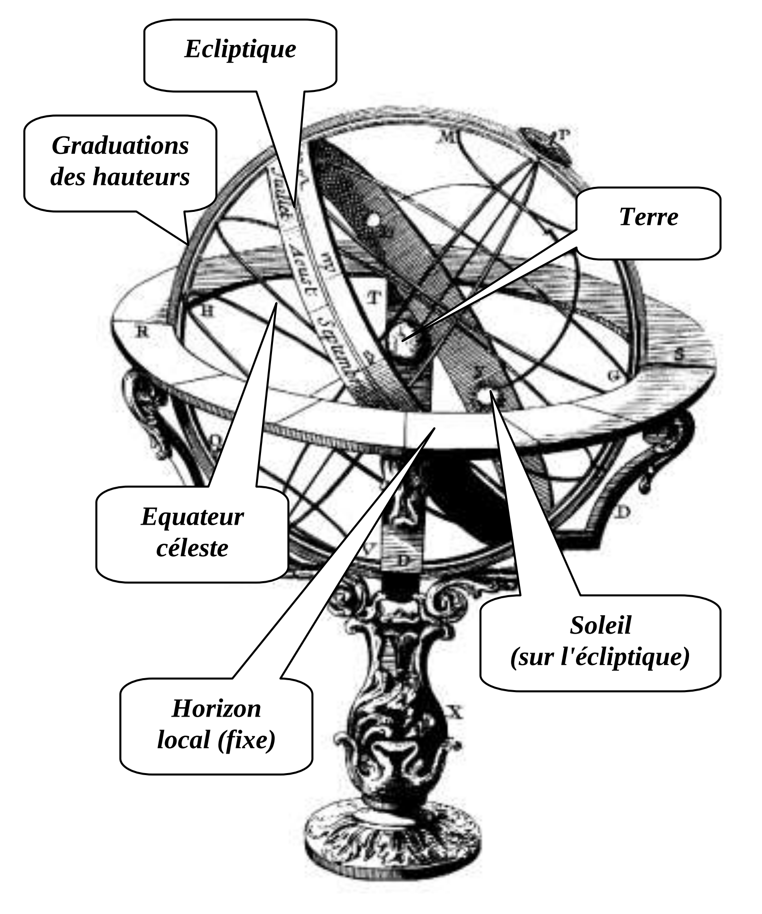
Au dos, une tige mobile nommée ***alidade*** (*al-idada* = la pièce forgée) et munie de deux œilletons, les ***pinnules***, permet de viser les astres.
Un quadrant divisé en degrés donne ainsi la hauteur de l'astre visé.


Etoiles
Terre
Soleil sur l'écliptique
SPHERE CELESTE MOBILE
En rotation autour de la Terre qui est fixe (modèle de Ptolémée)
+
Horizon
Zénith
Observateur
SPHERE CELESTE LOCALE FIXE
Dépend du lieu d'observation : repère les hauteurs des astres (0°= horizon, 90°= zénith)
=
SPHERE DES ETOILES EN ROTATION AUTOUR DE LA SPHERE LOCALE ET DE LA TERRE (FIXES)
PROJECTION STEREOGRAPHIQUE
Etoile
Ecliptique (parcours du Soleil durant l'année)
ARAIGNEE
+
Zénith
Horizon
TYMPAN LOCAL
=
Terre réduite au centre de rotation
ASTROLABE
Araignée en rotation sur le tympan

2 . PRINCIPE DE L'ASTROLABE PLANISPHERIQUE

L'astrolabe correspond, en deux dimensions, à ce qu'est, en trois dimensions, la ***sphère armillaire*** ci-dessous.

Le modèle de l'Univers considéré est celui des ***apparences*** (modèle de ***Ptolémée***), c'est à dire tel qu'il nous apparaît quand on observe depuis la Terre :



"Sphère armillaire de Ptolémée"
Planche de l'Encyclopédie de Diderot et d'Alembert - 1767

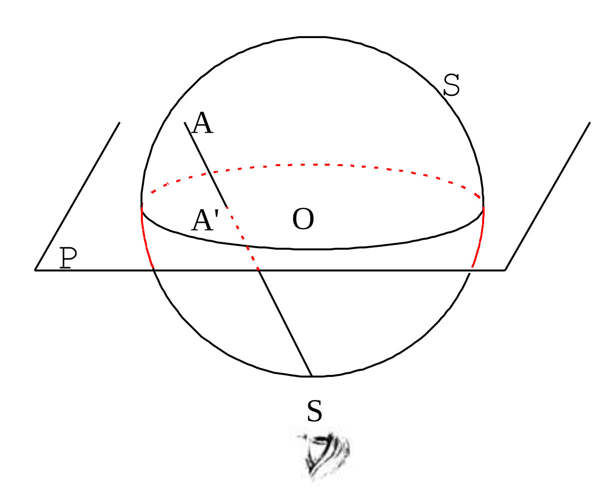
- La Terre est fixe au centre de l'Univers.
- Les astres (Soleil, lune, étoiles...) semblent se situer sur une grande sphère (***sphère céleste***) qui tourne autour de la Terre en 24 heures.
- L'axe de rotation de la sphère céleste passe à proximité de l'étoile polaire (***pôle nord céleste***), dans le prolongement du rayon terrestre passant par le pôle nord terrestre. Le prolongement de l'équateur terrestre, donne, sur la voûte céleste, ***l'équateur céleste***.
- Sur la sphère céleste, le Soleil semble se déplacer, au cours de l'année, par rapport aux étoiles. Son trajet annuel apparent est le cercle de ***l'écliptique***.
- La couronne horizontale extérieure est fixe. Elle correspond à l'***horizon local***. Une graduation sur l'anneau qui lui est fixé verticalement correspond, en degrés, aux angles de ***hauteur***.

L'astrolabe planisphérique est la ***projection*** (aplatissement) de ce modèle sur le plan de l'équateur céleste :

- La Terre et le pôle nord céleste deviennent le ***point central*** de l'astrolabe.
- Autour du point central, tourne (en 24 h) l'***araignée***, qui représente la sphère céleste.
- Le ***tympan***, qui est fixe, dépend du lieu d'observation. Il sert à se repérer par rapport aux "hauteurs" des astres dans le ciel : depuis la hauteur 0° (***horizon***) jusqu'à la hauteur 90° (***zénith***, à la verticale de l'observateur).

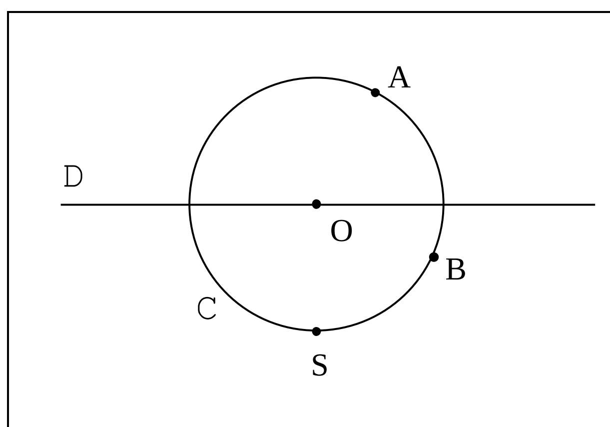
3 . ETUDE DE LA PROJECTION STEREOGRAPHIQUE

Vos calculs d'astrolabistes seront basés sur le principe de la ***projection stéréographique***, déjà utilisée par le grec ***Hipparque*** au IIème siècle avant J.-C.



On ne peut pas projeter la sphère S sur le plan P sans déformations. On peut cependant conserver certaines propriétés.
La projection stéréographique de pôle S projette la sphère S (sauf le point S) sur le plan P de la façon suivante :
Le point A de S a pour image le point A' de P où A' est l'intersection de la droite (SA) avec le plan P .
Le point A' est là où l'on voit le point A, sur le plan P , lorsque notre œil est situé au pôle sud S.

Plaçons nous dans le plan contenant les points A, O, S :



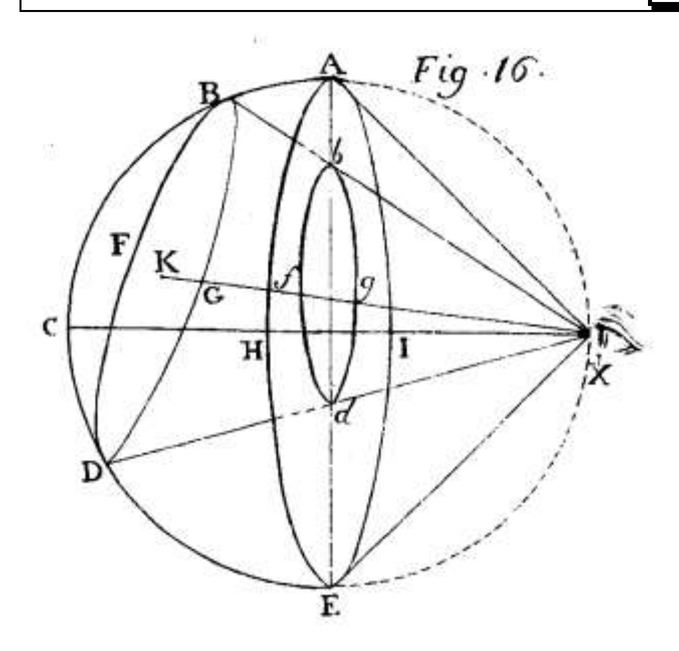
On considère la projection stéréographique de pôle S, par laquelle le cercle C , sauf le point S, a pour image la droite D .

1) Tracer les images des points A et B.
2) Déterminer l'antécédent du point O.
3) Y a-t-il des points invariants (qui sont leur propre image) ?
4) On désigne par x l'angle géométrique $\widehat{AOA'}$ et par R le rayon de C , montrer que :

$$\boxed{OA' = R\tan(45° - \frac{x}{2})} \quad (1).$$

5) On désigne par y l'angle géométrique $\widehat{BOB'}$, montrer que :

$$\boxed{OB' = R\tan(45° + \frac{y}{2})} \quad (2).$$



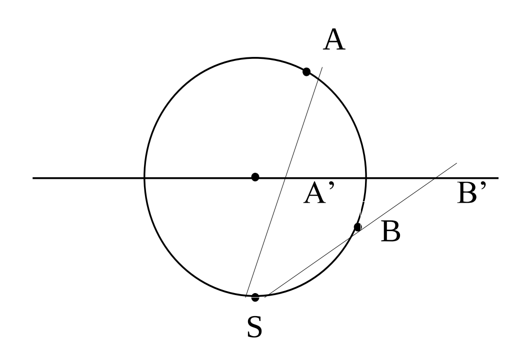
La projection stéréographique possède les ***propriétés*** suivantes (qui font son intérêt) :

- ***Conservation des angles*** (deux courbes formant un certain angle sur S ont des images formant le même angle sur P) et en particulier de la tangence.
- ***L'image d'un cercle*** de la sphère S ***ne passant pas par le pôle S est un cercle*** sur P *(voir l'illustration du XVIIIe siècle ci-contre, sans tenir compte des lettres).*
- ***L'image d'un cercle*** de S ***passant par le pôle S est une droite*** sur P .

Corrigé de l'activité
"PRINCIPE DE L'ASTROLABE - PROJECTION STEREOGRAPHIQUE"

ETUDE DE LA PROJECTION STEREOGRAPHIQUE

1)



2) Le point O a pour antécédent le pôle nord N.
3) Les points invariants sont à l'intersection de D et de C .
4) Le triangle OAS est isocèle en O d'où :
2 OSA' = 180° - (90° + *x*) d'où OSA' = 90° - (45° + *x*/2) = 45° - *x*/2.

Dans le triangle rectangle A'OS, on a tan OSA' = OA' / *R* d'où : OA' = $R\tan(45° - \frac{x}{2})$ (1).

5) Le triangle OBS étant isocèle en O, on a : 2 OSB = 180° - (90° - *y*)
d'où OSB = 45° + *y*/2 .
Dans le triangle rectangle B'OS, on a : tan OSB' = OB' / *R* d'où

OB' = $R\tan(45° + \frac{x}{2})$ (2).

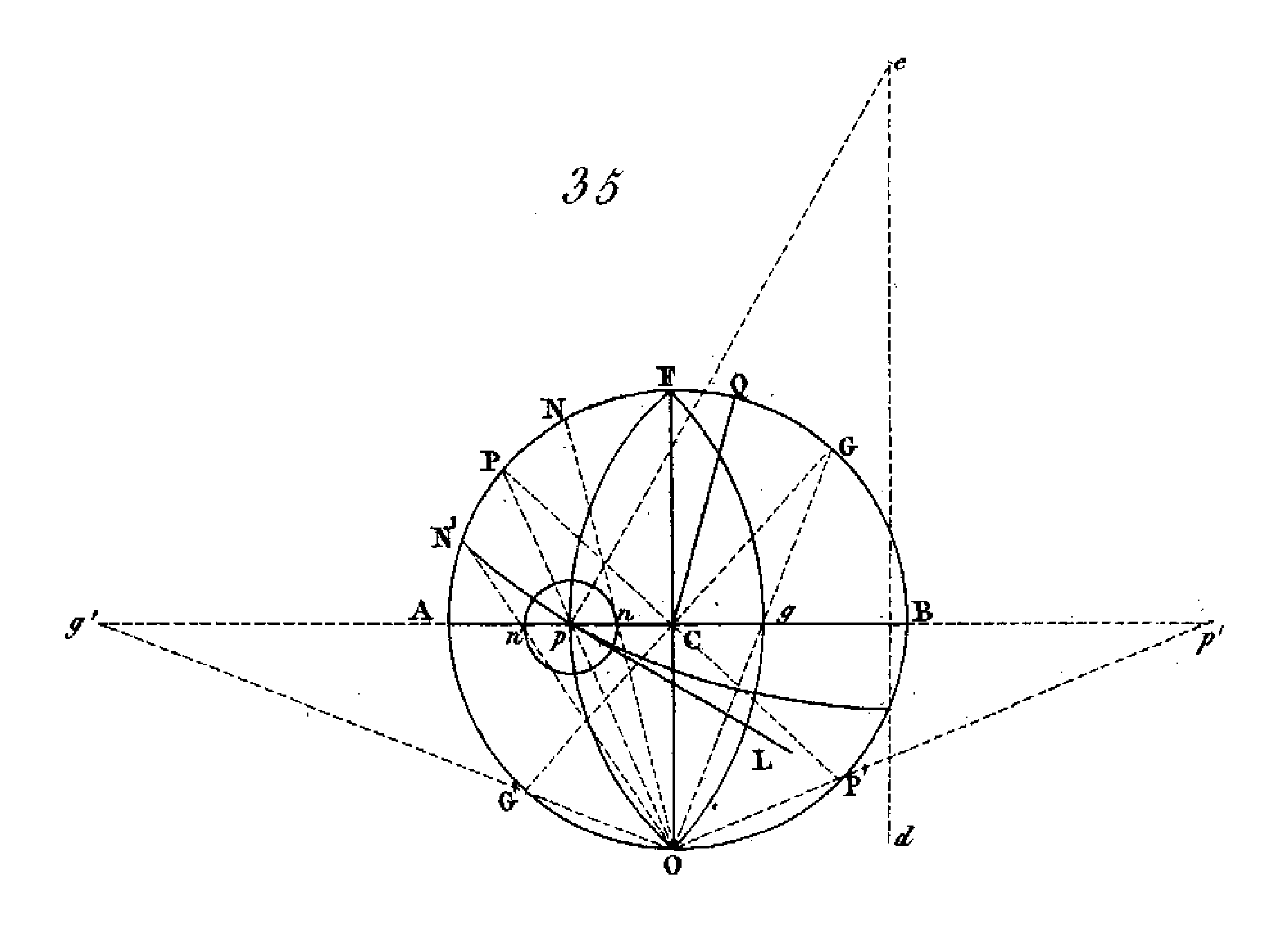
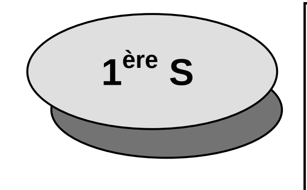
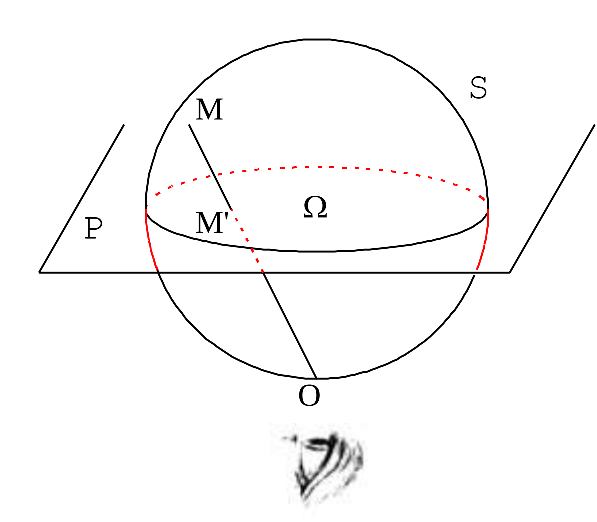


Figure extraite de "l'Introduction à la géographie mathématique et physique" de Lacroix - 1811





QUELQUES PROPRIETES DE LA PROJECTION STEREOGRAPHIQUE



On ne peut pas projeter une sphère sur un plan sans déformations. On peut cependant conserver certaines propriétés.

La ***projection stéréographique*** de pôle O projette la sphère S sur le plan P de l'équateur, de la façon suivante :

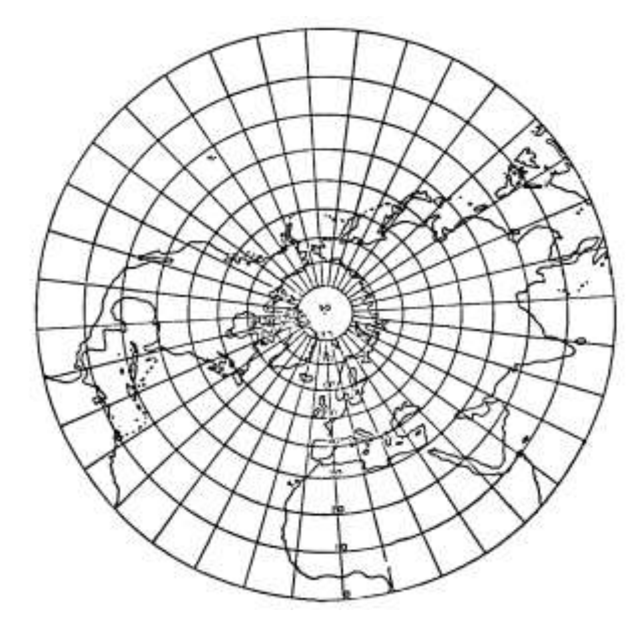
> Tout point M de S , autre que le pôle O, a pour image le point M' de P , qui se trouve à l'intersection de la droite (OM) avec le plan P.

Ce procédé consiste à représenter chaque point M de la sphère S par sa ***perspective*** M' sur le plan P , l'***œil*** étant situé au pôle O.

Le principe de la projection stéréographique était déjà utilisé par le grec ***Hipparque*** , au IIème siècle avant J.-C., pour cartographier le ciel. Il est à la base de l'***astrolabe*** (projection stéréographique de la voûte céleste sur le plan équatorial) et est également très utilisé en ***géographie*** et en ***navigation*** pour cartographier les régions polaires ou les approches des aéroports.



Astrolabe arabe du IXe siècle
Bibliothèque nationale de France



Projection stéréographique de l'hémisphère Nord

La projection stéréographique possède les ***propriétés*** suivantes (qui font son intérêt) :

- ***Conservation des angles*** (deux courbes formant un certain angle sur S ont des images formant le même angle sur P).
- ***L'image d'un cercle*** de S ***passant par le pôle O est une droite*** sur P
- ***L'image d'un cercle*** de la sphère ***ne passant pas par le pôle O est un cercle*** sur P .

I - LA PROJECTION STEREOGRAPHIQUE CONSERVE LES ANGLES

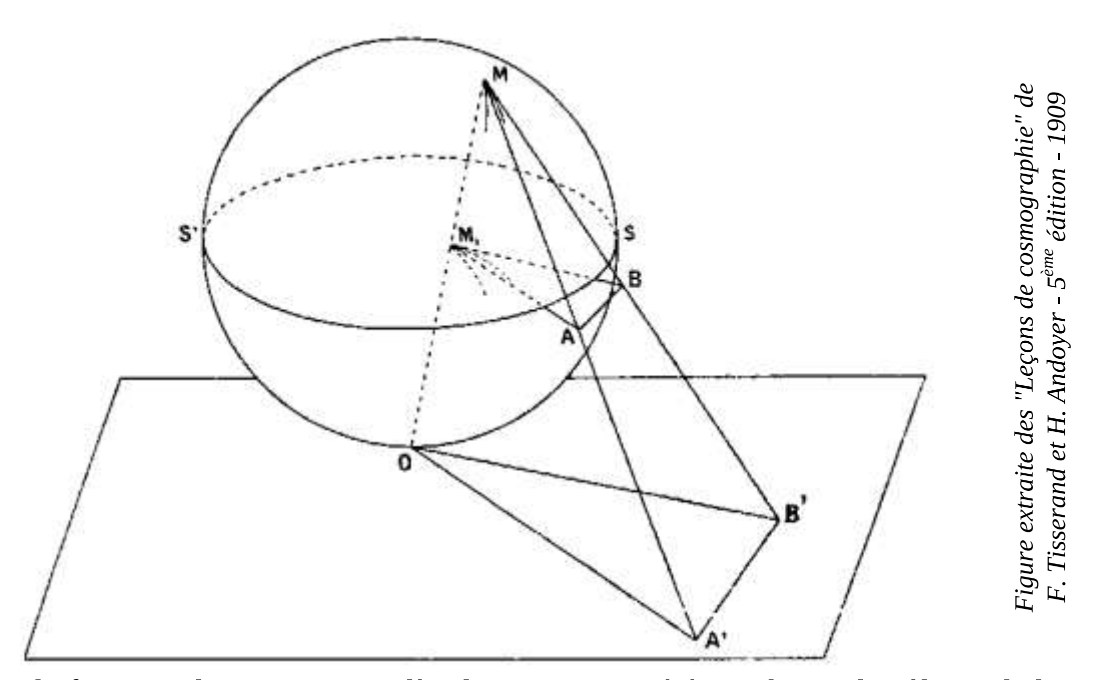


Figure extraite des "Leçons de cosmographie" de F. Tisserand et H. Andoyer - 5ème édition - 1909

Sur la figure ci-dessus, on considère la projection stéréographique de pôle O, de la sphère S passant par O, S, S' sur le plan P de son équateur (passant par S et S').

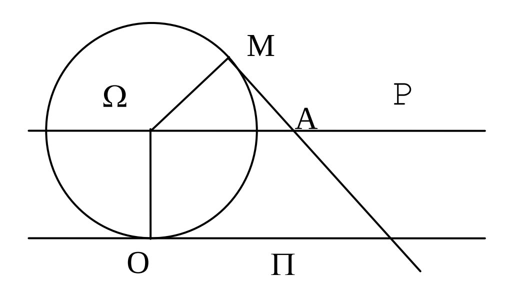
Soit M un point de la sphère (autre que les pôles). On considère deux courbes tracées sur la sphère et passant par M, où elles admettent comme tangentes les droites (MA) et (MB), les points A et B étant dans le plan P de l'équateur.

Le point M se projette en M_1, et les tangentes, en (M_1A) et (M_1B). *On admet* que (M_1A) et (M_1B) sont encore tangentes aux projections des deux courbes.

L'objectif est de montrer que l'angle $\widehat{AMB}$ que forment les deux courbes sur la sphère est égal à l'angle $\widehat{AM_1B}$ que forment leurs projections sur P .

On considère le plan Π, parallèle à P et tangent en O à la sphère. Les droites (MA) et (MB) rencontrent Π respectivement en A' et B'.

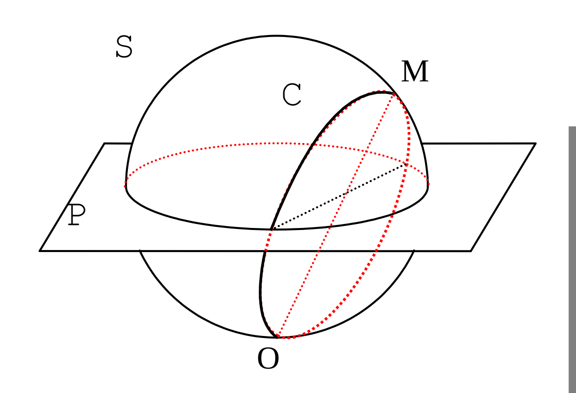
1) Montrer que les angles $\widehat{A'OB'}$ et $\widehat{AM_1B}$ sont égaux.
2) Placer sur le dessin ci-contre (représentation dans le plan OMA), les points M_1 et A'.
Montrer que A'M = A'O.
3) Montrer que $\widehat{A'OB'} = \widehat{A'MB'}$ puis conclure.
4) Que se passe-t-il lorsque M se rapproche du pôle nord O' (diamétralement opposé à O) ?
Justifier que, pour M = O', on a encore $\widehat{AMB} = \widehat{AM_1B}$.



On résume ce qui précède en disant que la projection stéréographique "conserve les angles". On appelle cela une "***projection conforme***". On peut ainsi naviguer à la boussole (ou préparer son plan de vol), en mesurant les angles sur une carte stéréographique.

II - IMAGE, PAR PROJECTION STEREOGRAPHIQUE, D'UN CERCLE DE LA SPHERE

1) Cas d'un cercle passant par le pôle de projection



Soit C un cercle tracé sur la sphère S et passant par le pôle O de projection.

a) En considérant le plan P, qui contient le cercle C, montrer que la projection de C est contenue dans une droite D.
b) Montrer que tout point de D est l'image d'un point de C. Conclure.
c) Pourquoi les méridiens sont-ils représentés par des droites sur la carte de la première page ?

2) Cas d'un cercle ne passant pas par le pôle de projection

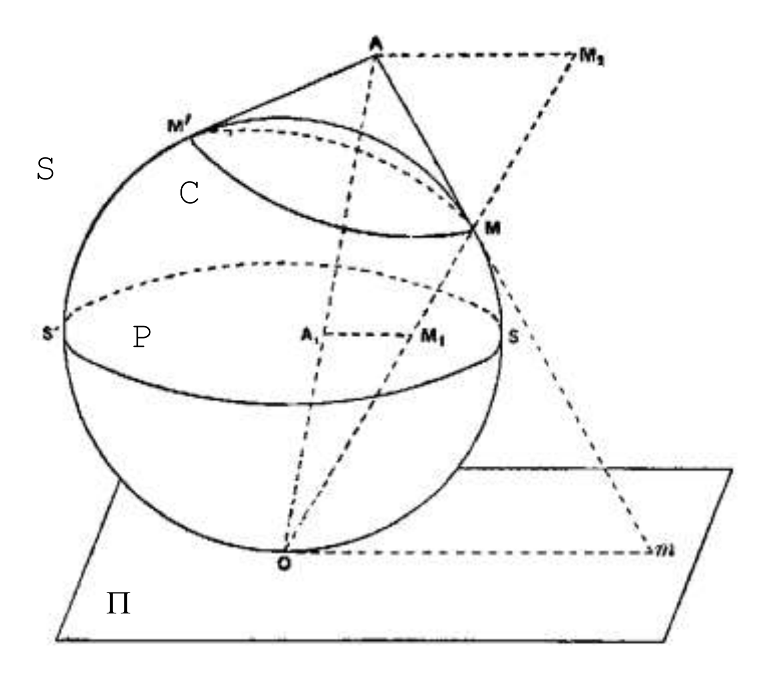


Figure extraite des "Leçons de cosmographie" de F. Tisserand et H. Andoyer - 5ème édition - 1909

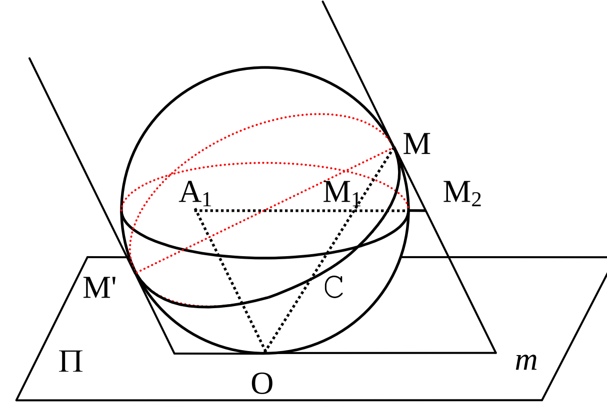
Sur la figure ci-dessus, on considère le cercle C, passant par M et M', et tracé sur la sphère S. On suppose que le rayon de C est strictement inférieur à celui de S, de sorte qu'il existe un cône de sommet A, tangent à S, et circonscrit à C.
Le point M_1 est la projection de M sur le plan P de l'équateur, et la droite (OA) coupe P en A_1.
Soit Π le plan tangent à S au pôle O. La droite (AM) rencontre Π en *m* et la droite (OM) rencontre le plan parallèle à Π mené par A, au point M_2.

a) Montrer que mO = mM.

b) En déduire que AM = AM_2 puis que $A_1M_1 = \frac{OA_1}{OA} \times AM$.

c) Justifier que la distance A_1M_1 ne dépend pas de la position particulière du point M sur le cercle $\mathbb{C}$. Conclure.

d) Lorsque le point M' se rapproche du point diamétralement opposé à M sur la sphère, que devient le cône de sommet A, circonscrit au cercle $\mathbb{C}$?



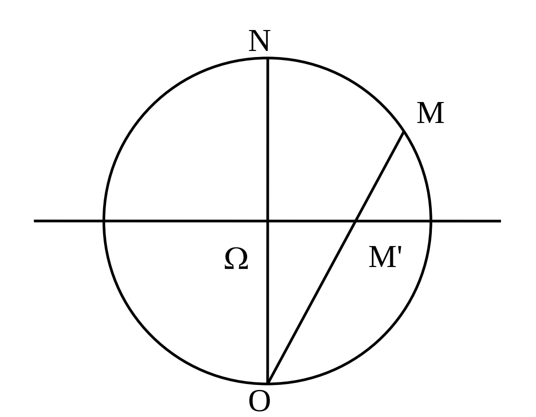
Voici, ci-contre, une telle situation.
On désigne par A_1 le point où la parallèle à la tangente (mM) menée par O, rencontre le plan équatorial $\mathbb{P}$.

Montrer que $A_1M_1 = A_1O$.
En déduire que, dans cette situation encore, A_1M_1 ne dépend pas de la position particulière de M sur $\mathbb{C}$. Conclure.

e) Pourquoi les parallèles sont-ils représentés par des cercles sur la carte de la première page ?

• Le fait que la projection stéréographique d'un cercle soit une droite ou un cercle, permet une construction simple de l'astrolabe.
• On montre que, sur une sphère, le chemin le plus court d'un point à un autre (***géodésique*** ou ***orthodromie***) consiste à suivre l'arc du cercle qui passe par ces points et ceux qui leur sont diamétralement opposés (antipodaux). Il est donc facile, en navigation, de tracer le chemin le plus court sur une carte stéréographique.

III - LA PROJECTION STEREOGRAPHIQUE EST LA RESTRICTION, A LA SPHERE, D'UNE INVERSION DE L'ESPACE



On se place dans le plan (OΩM), où l'on représente la sphère $\mathbb{S}$ par le cercle ci-contre.
On choisit l'unité de sorte que le rayon du cercle soit ΩO = 1.

1) Montrer que $\overrightarrow{OM}.\overrightarrow{OM'} = \overrightarrow{ON}.\overrightarrow{O\Omega}$.
2) En déduire que, pour tout point M du cercle autre que O, on a :
$\overline{OM} \times \overline{OM'} = 2$.

On appelle ***inversion*** de centre O et de rapport 2, l'application qui, à tout point M de l'espace, autre que O, associe le point M' de la droite (OM) tel que $\overline{OM} \times \overline{OM'} = 2$.
La projection stéréographique apparaît ainsi comme la restriction de cette inversion à la sphère de rayon 1.

Corrigé et compte-rendu de l'activité
"QUELQUES PROPRIETES DE LA PROJECTION STEREOGRAPHIQUE"

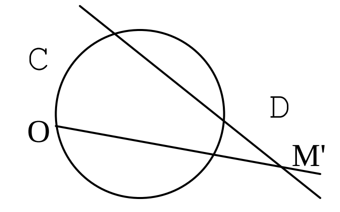
CORRIGE

I - LA PROJECTION STEREOGRAPHIQUE CONSERVE LES ANGLES

1) On sait qu'un plan coupe deux plans parallèles selon des droites parallèles. On en déduit donc que (OA')//(M_1A) et (OB')//(M_1B). On a donc $\widehat{A'OB'} = \widehat{AM_1B}$.
2) La tangente à un cercle étant perpendiculaire à son rayon, le théorème de Pythagore donne : $A'\Omega^2 = R^2 + A'M^2 = R^2 + A'O^2$ où R est le rayon de la sphère.
On en déduit que A'M = A'O.
3) On montre, de même qu'à la question précédente, que B'M = B'O. Les triangles A'MB' et A'OB' sont donc isométriques et on en déduit que $\widehat{A'OB'} = \widehat{A'MB'}$.
Cette égalité, avec la conclusion du 1), conduit à l'égalité des angles $\widehat{AMB}$ et $\widehat{AM_1B}$.
Ainsi les tangentes, avant et après projection, forment le même angle géométrique.
4) Lorsque M tend à se rapprocher du pôle nord O', il a froid, et les tangentes (MA) et (MB) tendent à être parallèles aux plans $\mathbb{P}$ et Π.
Dans la situation où M = O', considérons deux tangentes en M, (MA) et (MB), contenues dans le plan tangent à la sphère, parallèle à $\mathbb{P}$ et Π. Les tangentes se projettent en (ΩA') et (ΩB'). Les tangentes sont alors parallèles à leurs images (le plan (OMA) rencontre les plans parallèles selon des droites parallèles). On en déduit que $\widehat{AMB} = \widehat{AM_1B}$, avec ici $M_1 = \Omega$.

II - IMAGE D'UN CERCLE DE LA SPHERE

1) Cas d'un cercle passant par le pôle de projection
a) Le cercle $\mathbb{C}$ et le point O sont dans un même plan P. Pour tout M de $\mathbb{C}$, distinct de O, la droite de projection (OM) est contenue dans P. Le projeté M' de M est donc à l'intersection des plans P et $\mathbb{P}$. L'intersection de deux plans est une droite, que l'on nomme ici $\mathbb{D}$.
b) On se place dans le plan P.
Soit M' un point quelconque sur $\mathbb{D}$.
La droite (M'O) rencontre le cercle en un point M, autre que O (car (OM') n'est pas tangente au cercle).
On conclut que la projection du cercle $\mathbb{C}$ est la droite $\mathbb{D}$ ("entièrement").



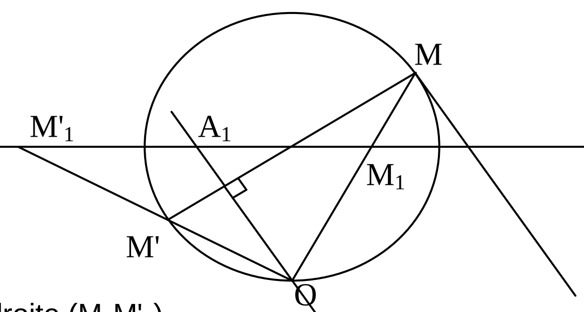
c) Les méridiens de la sphère terrestre passent par le pôle sud, qui est ici le pôle de projection. Ils seront donc projetés selon des droites.

2) Cas d'un cercle ne passant pas par le pôle de projection
a) Puisque (*m*M) et (*m*O) sont deux tangentes, en M et O, à la sphère, on a *m*O = *m*M (même justification qu'au I - 2)).
b) Dans le plan (AMO), les triangles MO*m* et MAM_2 sont en configuration de Thalès. Du fait que *m*M = *m*O , on déduit alors que $AM = AM_2$.
Les triangles OA_1M_1 et OAM_2 constituent une autre configuration de Thalès, pour laquelle on a : $\frac{A_1M_1}{AM_2} = \frac{OA_1}{OA} = \frac{A_1M_1}{AM}$. Ainsi, $A_1M_1 = \frac{OA_1}{OA} \times AM$.
c) Le point A étant à égale distance de tout point du cercle $\mathbb{C}$, l'expression précédente de A_1M_1 montre que cette distance ne dépend pas de la position particulière de M sur $\mathbb{C}$.
On en conclut que les projetés M_1 des points M de $\mathbb{C}$ se situent sur un même cercle de centre A_1.

d) Lorsque M' se rapproche d'une position diamétralement opposée, sur la sphère, à M, le cône circonscrit à $\mathbb{C}$ tend à devenir un cylindre.

En vertu des configurations de Thalès , on a : $\frac{A_1M_1}{A_1O} = \frac{M_2M_1}{M_2M} = \frac{mO}{mM}$, rapport égal à 1 puisque (mM) et (mO) sont deux tangentes.
La définition du point A_1 ne dépend pas de la position particulière de M sur $\mathbb{C}$, puisque les tangentes (Mm) du cylindre circonscrit à $\mathbb{C}$ sont parallèles.
Ici encore, la distance A_1M_1 ne dépend pas de la position particulière de M sur $\mathbb{C}$ et on conclut que les projetés M_1 des points M de $\mathbb{C}$ se situent sur un même cercle de centre A_1.

Remarque :
En règle générale, deux points M et M', diamétralement opposés d'un cercle $\mathbb{C}$ de la sphère, ne se projettent pas en deux points M_1 et M'_1 diamétralement opposés sur le cercle image. En revanche si le plan (OMM'), plan de la figure ci-contre, est orthogonal au plan du cercle $\mathbb{C}$ (ici vu selon [MM']), alors [$M_1M'_1$] est un diamètre du cercle projeté.



En effet, le cercle (OMM') se projette selon la droite ($M_1M'_1$).
L'orthogonalité étant conservée, celle-ci est orthogonale au cercle image, c'est à dire, passe par son centre.
Cette propriété est importante pour la construction de l'astrolabe.

e) Sur la sphère terrestre, les parallèles étant des cercles ne passant pas par le pôle sud de projection, ils seront représentés par des cercles sur la carte.

III LA PROJECTION STEREOGRAPHIQUE EST LA RESTRICTION D'UNE INVERSION

1) On a $\overrightarrow{OM}.\overrightarrow{OM'}$ = $(\overrightarrow{ON}+\overrightarrow{NM}).\overrightarrow{OM'}$ = $\overrightarrow{ON}.\overrightarrow{OM'}$ car les vecteurs $\overrightarrow{NM}$ et $\overrightarrow{OM'}$ sont orthogonaux. Or $\overrightarrow{ON}.\overrightarrow{OM'}$ = $\overrightarrow{ON}.\overrightarrow{O\Omega}$ car Ω est le projeté orthogonal de M' sur (ON).

2) D'une part on a $\overrightarrow{OM}.\overrightarrow{OM'}$ = $\overline{OM}\times\overline{OM'}$ (vecteurs colinéaires). D'autre part, $\overrightarrow{ON}.\overrightarrow{O\Omega}$ = 2 si l'on suppose le cercle de rayon 1. Donc $\overline{OM}\times\overline{OM'}=2$.

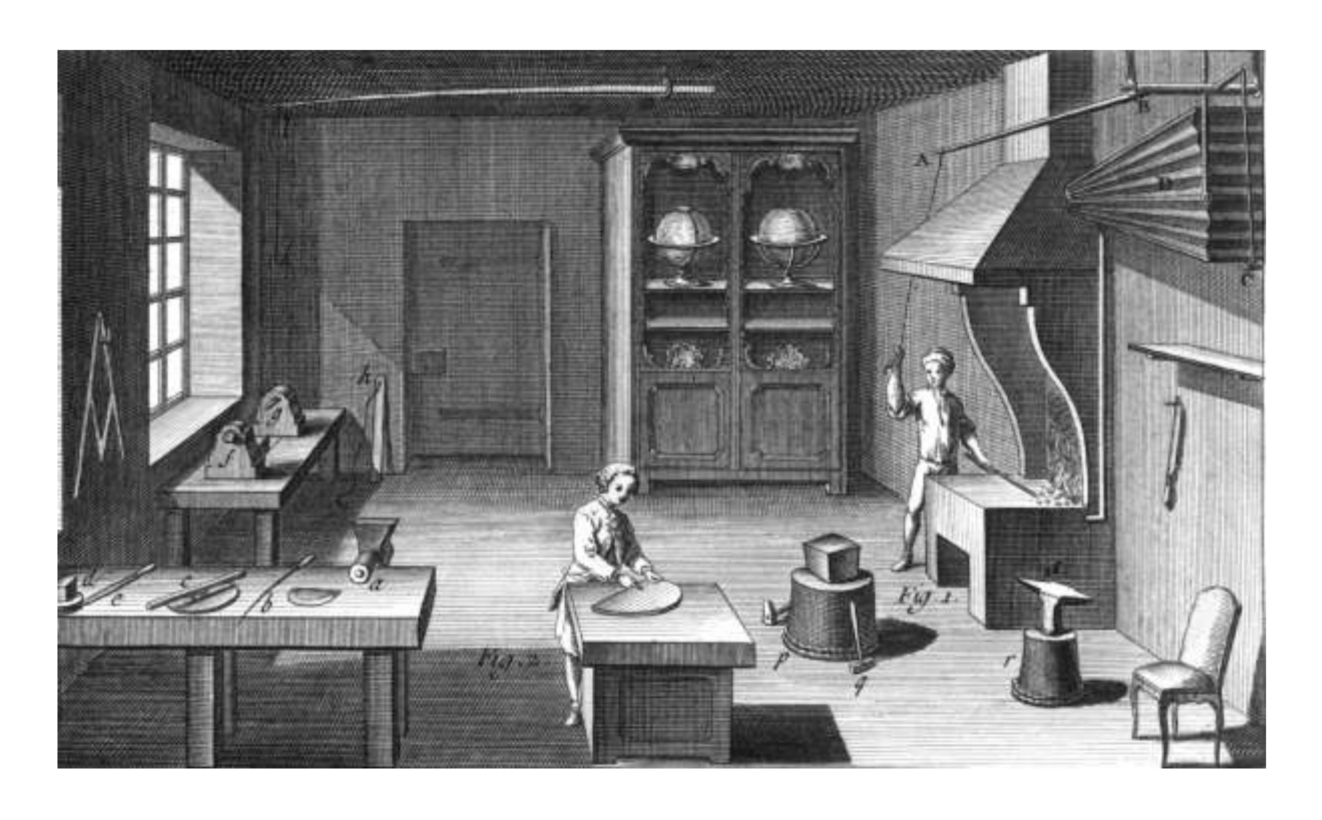
COMPTE-RENDU ET COMMENTAIRES

L'activité précédente a été effectuée en 1ère S, en début de chapitre de géométrie dans l'espace ("révisions de seconde") et après le chapitre "produit scalaire".
Les parties I et II sont du niveau (de bons élèves) de seconde.

A propos des démonstrations proposées :
Elles sont inspirées d'un ouvrage ancien de cosmographie dont l'un des auteurs, *François-Félix Tisserand* (1845 / 1896), fut un grand astronome, directeur de l'Observatoire de Paris et auteur d'un monumental "*Traité de mécanique céleste*". La démonstration de la conservation des angles y suppose (implicitement) la conservation de la tangence. Les "cas limites" n'y sont pas démontrés. En effet, le "principe de continuité" justifie que le résultat se prolonge au cas limite.
Il ne semble pas que les autres démonstrations (analytique, étude générale de l'inversion) soient abordables (en tout cas rapidement) par les élèves de première.

BIBLIOGRAPHIE

- *Lebossé et Hémery - "Géométrie - Classe de mathématiques"* - Nathan 1961 réédité chez Gabay 1997, pour le point de vue de l'inversion.
- Pour le point de vue analytique, on peut consulter la revue : "*Repères inter-Irem n°6*" - 1992.
- *Raymond D'Hollander - "L'astrolabe, histoire, théorie et pratique"* - Institut océanographique 1999 (p.51 à 57).



Atelier de construction d'instruments mathématiques, au XVIIIe siècle
(Encyclopédie Diderot D'Alembert)

II – CONSTRUCTION D'UN ASTROLABE

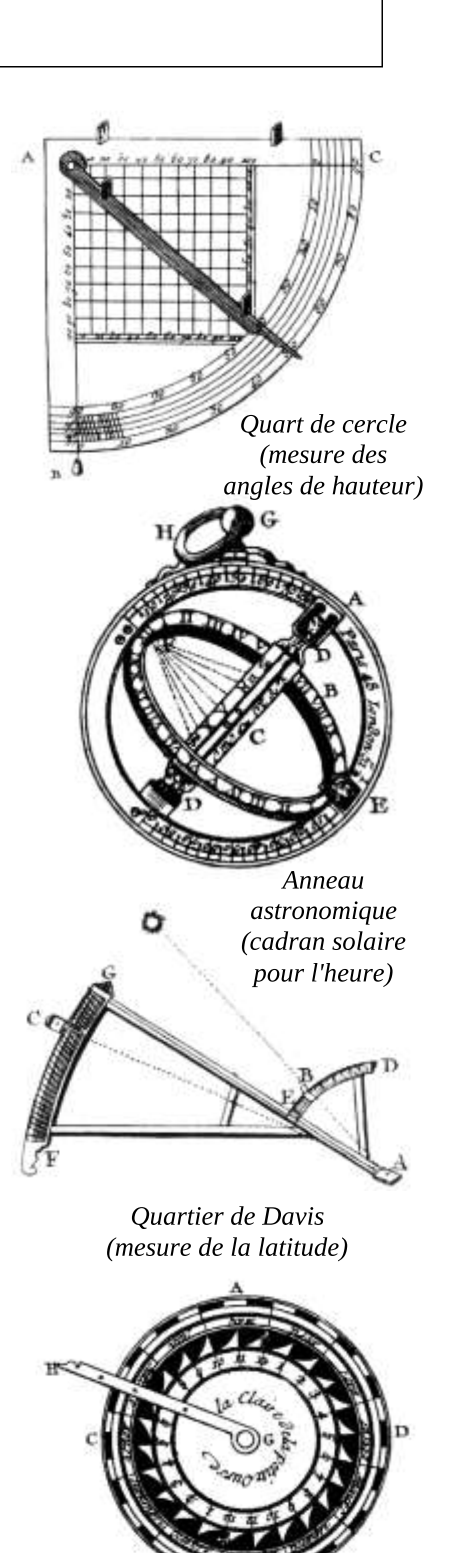
"Prenez un morceau de cuivre de cinq dirhams, il vaut cent dirhams une fois transformé en astrolabe, et ce prix n'est pas le règlement de sa matière mais celui de la forme qui lui a été donnée."

Ecrits des "Frères de la pureté" - Xe siècle.



L'astrolabe fabriqué par les élèves du lycée Branly





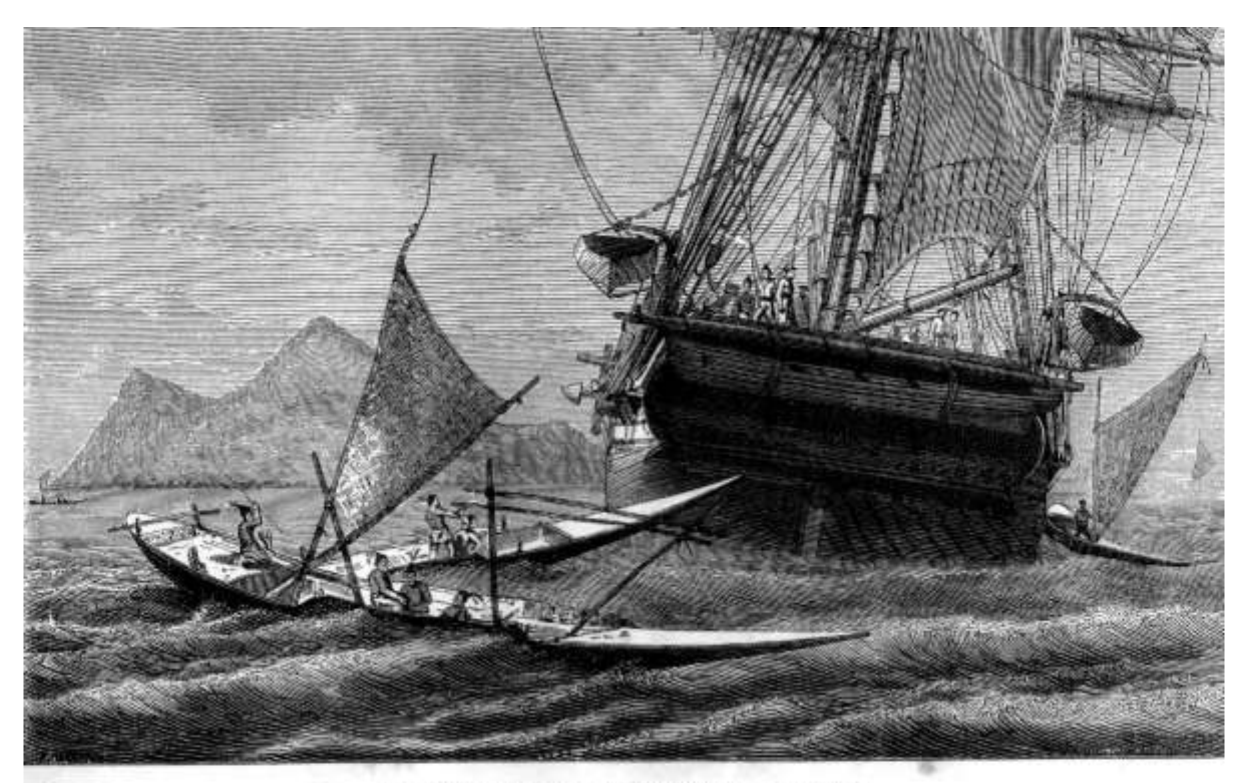
Quart de cercle (mesure des angles de hauteur)

Anneau astronomique (cadran solaire pour l'heure)

Quartier de Davis (mesure de la latitude)

Nocturlabe (heure de nuit)

Figures d'instruments extraites de l'Encyclopédie Diderot D'Alembert



ARRIVÉE DE DUMONT D'URVILLE A TIKOPIA

En 1828, Dumont D'Urville, à bord du navire "l'Astrolabe",
découvre les restes du naufrage de Lapérouse,
disparu en 1788 avec les navires ... "l'Astrolabe" et "la Boussole".

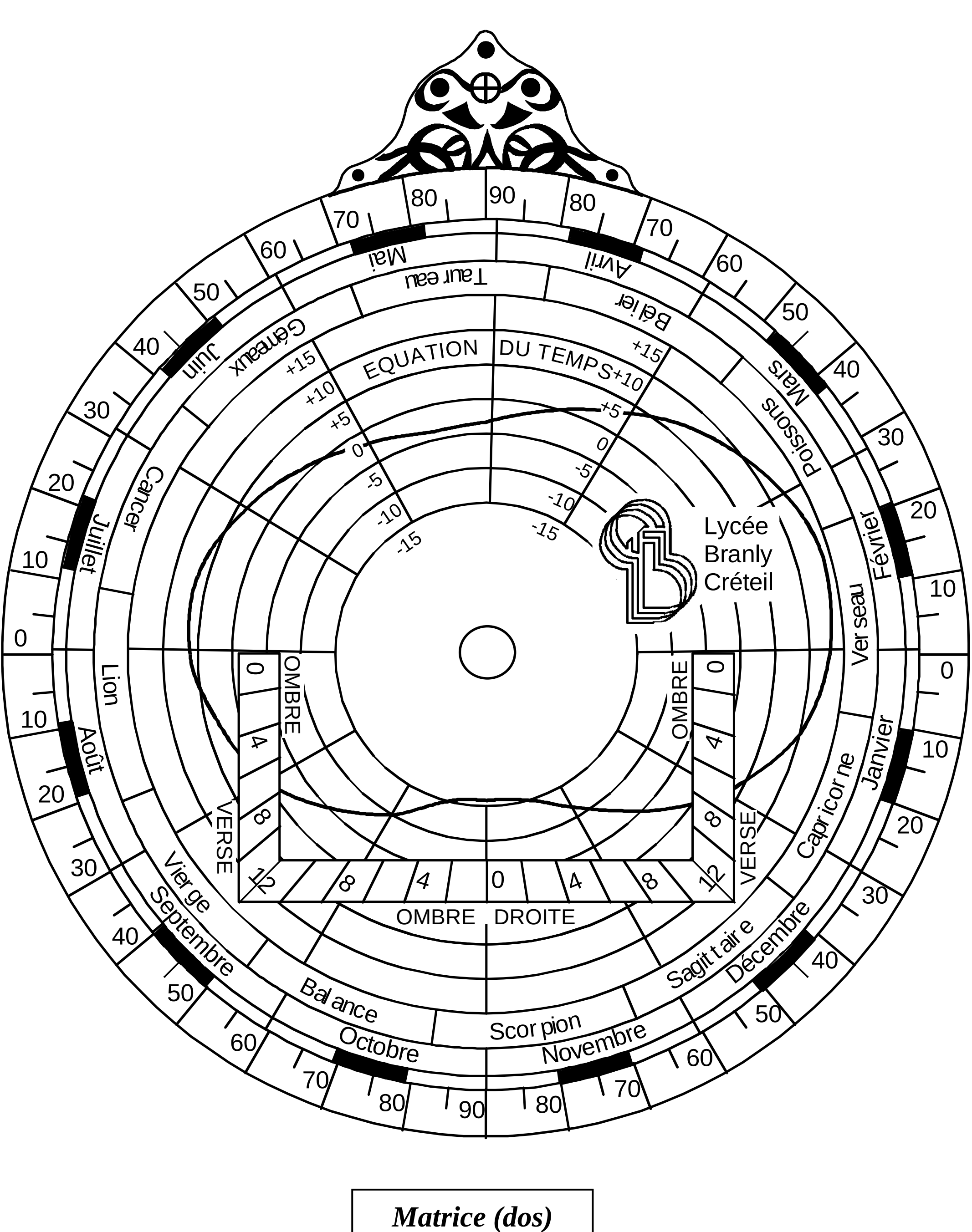
PHOTOCOPIEZ VOTRE ASTROLABE EN BRISTOL

1. Photocopier les pièces sur du ***papier bristol*** (un introducteur pour papier épais est prévu sur le photocopieur). Utiliser du papier bien lisse, de marque EXACOMPTA réf. 13306 par exemple.
2. Découper les pièces. Pour l'araignée, le travail est plus délicat. Utiliser des petits ciseaux pointus ou un cutter.
L'alidade et l'index devront être doublés, pour être plus rigides.
3. Coller ensemble les deux parties de la matrice.
4. Coller le tympan sur la face de la matrice, en positionnant bien le Sud en face de la graduation 12 heures du limbe.
5. Superposer, à l'aide d'une ***attache parisienne***, l'index, l'araignée, la matrice (côté tympan sous l'araignée), et, enfin, l'alidade.

Voir, page 76, les vues, de face et de dos, de la maquette assemblée.

Alidade

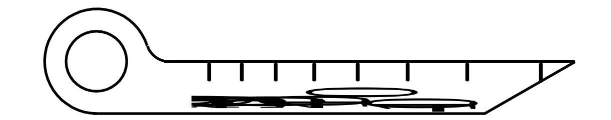
Plier

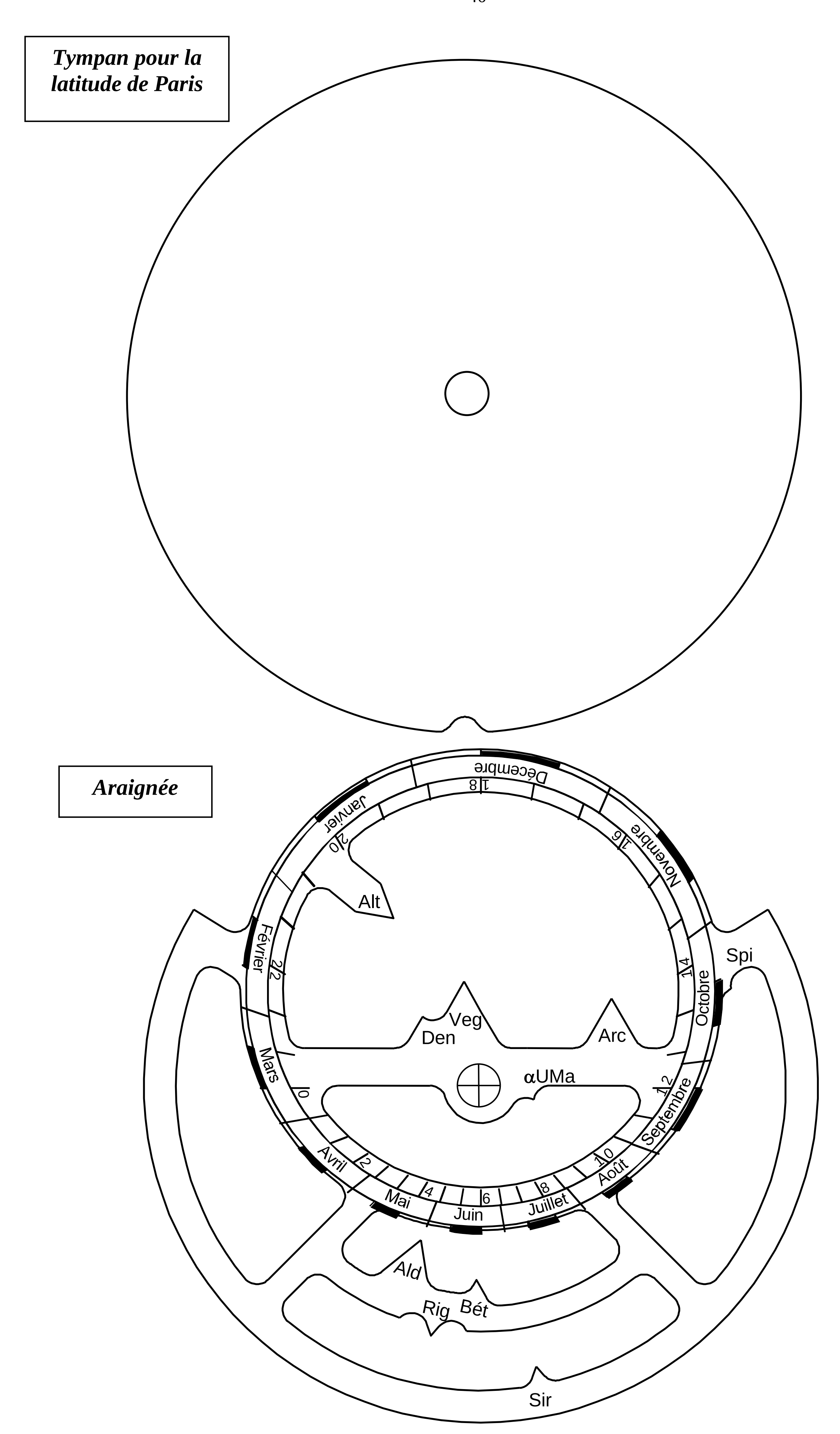

EQUATION DU TEMPS
OMBRE DROITE
OMBRE
VERSE
Lycée
Branly
Créteil
Taureau
Bélier
Gémeaux
Cancer
Lion
Vierge
Balance
Scorpion
Sagittaire
Capricorne
Verseau
Poissons
Mai
Avril
Juin
Juillet
Août
Septembre
Octobre
Novembre
Décembre
Janvier
Février
Mars

Matrice (dos)

12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11

Matrice (face) et index





Tympan pour la latitude de Paris
Araignée
Decembre
18
Janvier
20
Novembre
16
Alt
Février
22
14
Spi
Octobre
Veg
Den
Arc
αUMa
Mars
0
12
Septembre
Avril
2
10
Août
Mai
4
6
8
Juin
Juillet
Ald
Rig
Bét
Sir

TYMPAN EN FONCTION DE LA LATITUDE φ

Pour tracer un tympan pour une autre latitude que celle de Paris

Cercles "constants"

Les cercles suivants, centrés sur O (axe de rotation du tympan), ne dépendent pas de φ.
Tropique du Capricorne : rayon **6,30** cm.
Tropique du Cancer : rayon **2,71** cm.
Equateur : rayon ***R*** = 6,30 / tan 56,75° ≈ **4,13** cm.

Cercles d'égale hauteur (*Almucantarats*)

Ils sont centrés sur l'axe méridien (distance de O en direction du Sud indiquée ci-dessous).
Pour la hauteur *h*, les formules sont :
• Distance de O au centre de l'*amulcantarat* : $R \cos\varphi / (\sin \varphi + \sin h)$.
• Rayon de l'*almucantarat* : $R \cos h / (\sin\varphi + \sin h)$.

	Latitude de **PARIS** (rappel) $\varphi \approx$ **48°52'**		Latitude de **MARSEILLE** $\varphi \approx$ **43°17'**	
Hauteur *h*	Distance de O au centre	Rayon	Distance de O au centre	Rayon
0° (horizon)	**3,61**	**5,48**	**4,39**	**6,02**
10°	**2,93**	**4,39**	**3,50**	**4,73**
20°	**2,48**	**3,54**	**2,93**	**3,78**
30°	**2,17**	**2,85**	**2,54**	**3,02**
40°	**1,95**	**2,27**	**2,26**	**2,38**
50°	**1,79**	**1,75**	**2,07**	**1,83**
60°	**1,68**	**1,28**	**1,94**	**1,33**
70°	**1,61**	**0,83**	**1,85**	**0,87**
80°	**1,56**	**0,41**	**1,80**	**0,43**
90° (zénith)	**1,55**	**0**	**1,78**	**0**

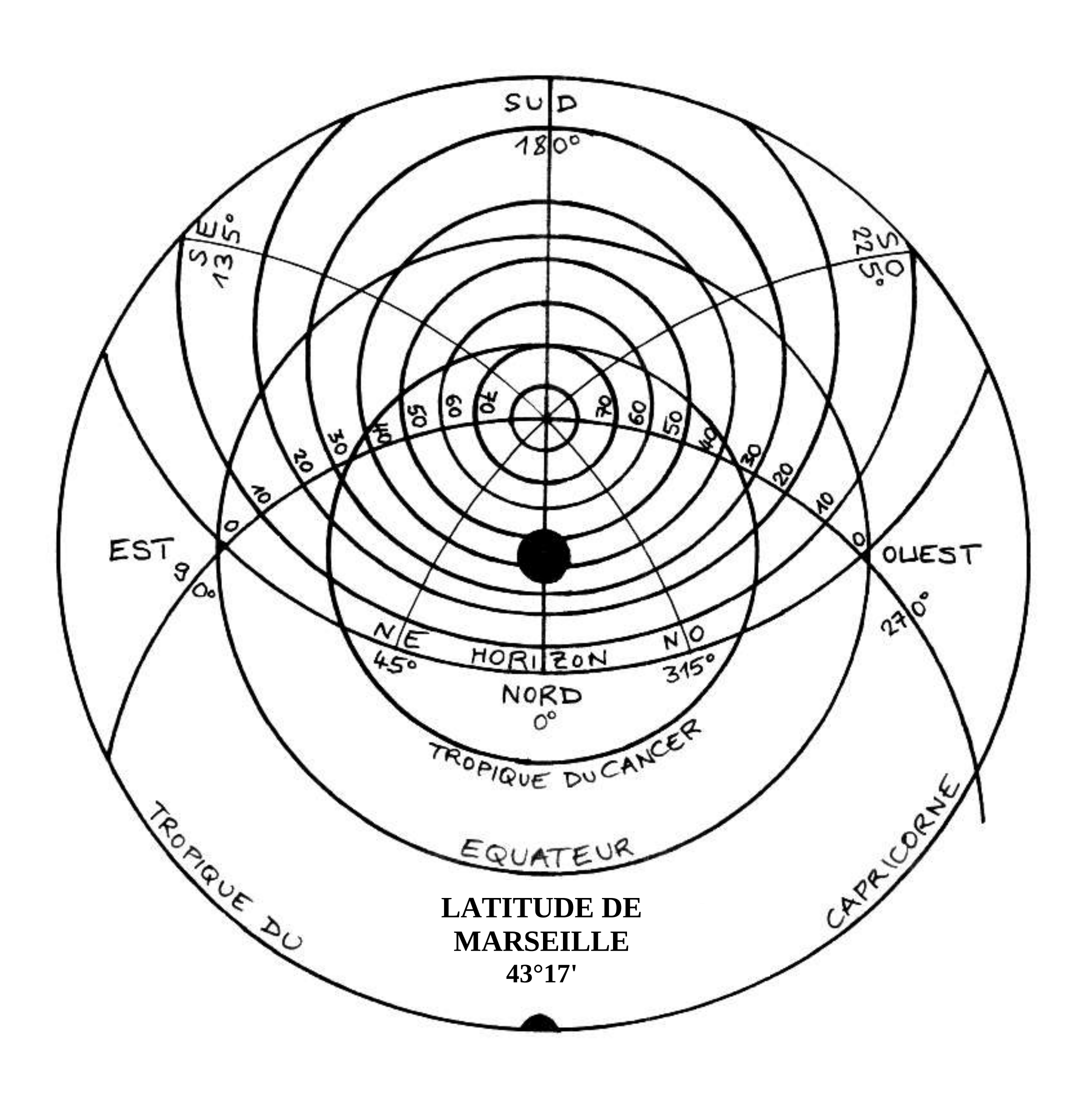
Cercles d'égal *azimut*

• **Centre de l'arc Est-Ouest :**
Ce cercle est centré sur la ligne *méridienne*, à la distance *d* du *zénith*, en direction du Nord. il passe par le *zénith* Z.
d = distance de Z au centre de l'arc = rayon de l'arc = $(R/2)\ (\tan(45-\varphi/2) + \tan(45+\varphi/2))$.

	Latitude de **PARIS** (rappel) $\varphi \approx$ **48°52'**	Latitude de **MARSEILLE** $\varphi \approx$ **43°17'**
d	**6,28** cm	**5,67** cm

• **Arcs NE/SE et NO/SE :**
Ces arcs passent par Z. Leurs centres sont situés de part et d'autre du centre de l'arc Est/Ouest de façon à former avec Z un triangle rectangle isocèle.

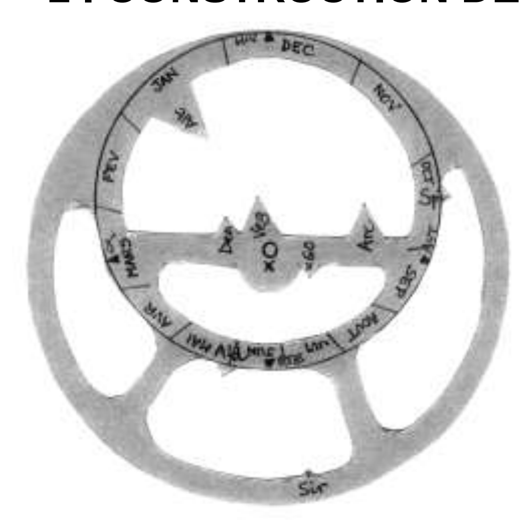
TYMPAN POUR LA LATITUDE DE MARSEILLE



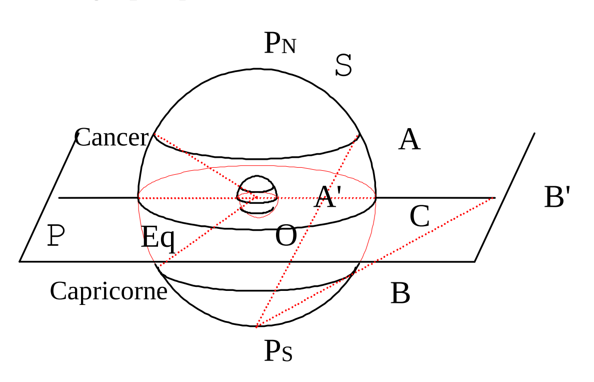


CALCUL ET CONSTRUCTION
D'UNE MAQUETTE D'ASTROLABE

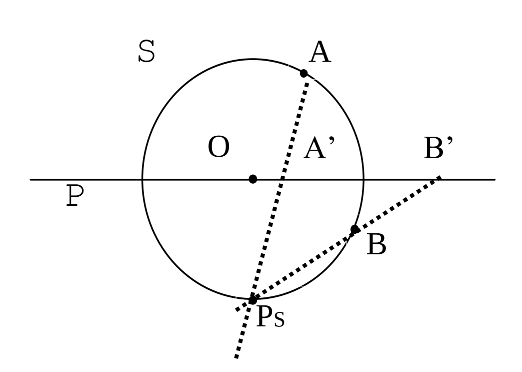
1 . CONSTRUCTION DE L'ARAIGNEE



L'araignée est une représentation, par projection stéréographique, de la ***voûte céleste*** S .



Sur cette araignée figurent (à l'extrémités des pointes) certaines ***étoiles***, parmi les plus brillantes , ainsi que le cercle de ***l'écliptique*** (parcours apparent du Soleil durant l'année).
Le point O est le centre de la Terre, qui sera par la suite supposée réduite à ce point.
Le plan P , qui contient ***l'équateur céleste***, est le plan de construction (réduite) de l'araignée.



Pour cela, on effectue la ***projection stéréographique*** de pôle sud (céleste) Ps, de la sphère S , sur le plan P de l'équateur.

Soit R le rayon de S .

Si A est dans l'hémisphère nord avec $A\hat{O}A' = x°$

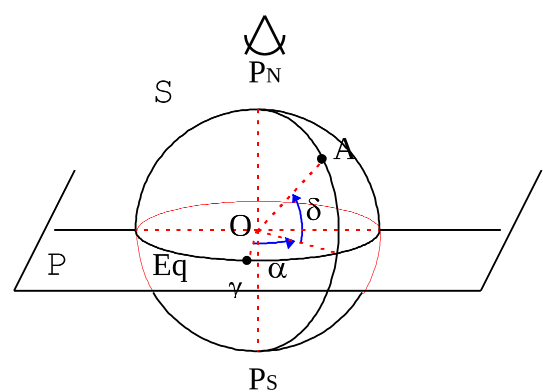
alors : $$OA' = R\tan(45° - \frac{x}{2})$$ (1).

Si B est dans l'hémisphère sud avec $B\hat{O}B' = y°$

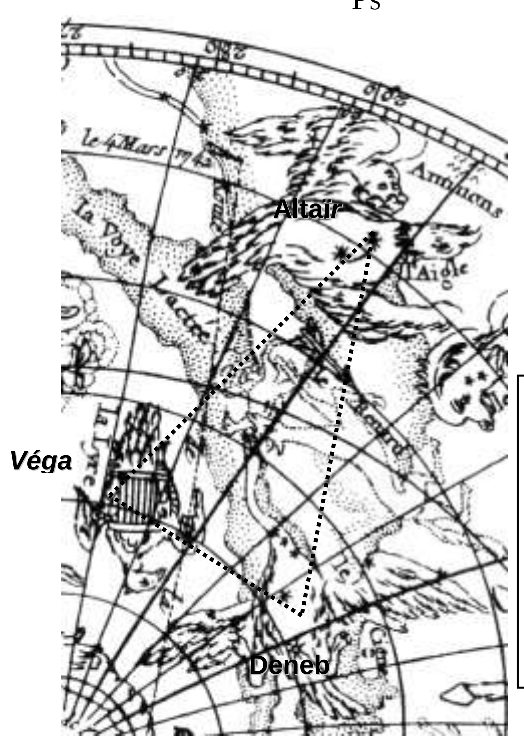
alors : $$OB' = R\tan(45° + \frac{y}{2})$$ (2).

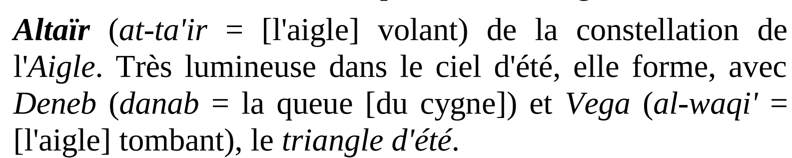
L'araignée sera limitée par la projection du ***tropique du Capricorne céleste*** (les étoiles situées au sud de ce tropique n'y figureront pas).

1) ***Tracé du tropique du Capricorne :***
On décide de prendre comme rayon de l'araignée 6,30 cm. Tracer un cercle de centre O et de rayon 6,30 cm représentant sur l'araignée *le tropique du Capricorne céleste*.
2) ***Tracé de l'équateur :***
Soit C un point de l'équateur céleste et B un point sur le tropique du Capricorne.
A l'aide de la formule (2), avec $y = B\hat{O}C = 23,5°$, donner une valeur approchée de R = OB, puis tracer le cercle de centre O représentant *l'équateur céleste* sur l'araignée.
3) ***Tracé du tropique du Cancer :***
Soit A un point sur le *tropique du Cancer*. A l'aide de la formule (1), avec $x = B\hat{O}A = 23,5°$, donner une valeur approchée de OA', puis tracer le cercle de centre O représentant le *tropique du Cancer* sur l'araignée.
4) ***Tracé de l'écliptique :***
Le cercle de *l'écliptique* se situe entre les deux tropiques, auxquels il est tangent. D'après les propriétés de la projection stéréographique, il vous faut donc, pour représenter l'écliptique sur l'araignée, tracer un cercle tangent aux deux tropiques.
Au point de tangence avec le tropique du Capricorne, noter HIVER (21/22 décembre). A partir de ce point, et en tournant dans le ***sens direct*** (contraire des aiguilles d'une montre), on rencontre l'équateur (noter la lettre grecque gamma : γ, c'est la désignation astronomique du ***point vernal*** qui correspond au printemps 20/21 mars), puis, au point de tangence avec le tropique du Cancer, noter ETE (21/22 juin). Enfin, au second point de rencontre de l'équateur, noter AUTOMNE (22/23 septembre).



Pour situer les étoiles les unes par rapport aux autres sur la voûte céleste, on utilise un systèmes de coordonnées angulaires, analogues à la longitude et à la latitude.
La position de l'étoile représentée en A sur la voûte céleste, est donnée par les angles α (mesuré à partir du point γ) et δ.
α = ***ascension droite*** de l'étoile A.
δ = ***déclinaison*** de l'étoile A.
Ces valeurs sont "fixes" pour chaque étoile.
On va d'abord placer sur l'araignée l'étoile




Altaïr (*at-ta'ir* = [l'aigle] volant) de la constellation de l'*Aigle*. Très lumineuse dans le ciel d'été, elle forme, avec *Deneb* (*danab* = la queue [du cygne]) et *Vega* (*al-waqi'* = [l'aigle] tombant), le *triangle d'été*.
Coordonnées d'*Altaïr* : $\boldsymbol{\alpha \approx 297{,}7° \ ; \ \delta \approx 8{,}9°}$.
Remarque : en projection stéréographique, les étoiles seront disposées sur l'araignée comme les verrait un œil divin situé par-dessus les étoiles, au-dessus du pôle nord céleste (donc "à l'envers" de ce que l'on voit depuis la Terre ou sur les cartes du ciel du commerce).



5) Pour situer ***Altaïr*** sur l'araignée :
a) On note A le point correspondant à Altaïr sur S et A' sa projection sur P par la projection stéréographique de pôle Ps. Calculer OA' par la formule (1) en prenant
$x = \delta = 8{,}9°$.
b) Mesurer, à partir du point γ, l'angle $\alpha = \gamma\hat{O}E = 297{,}7°$ dans le sens direct. Placer *Altaïr*.

Encyclopédie Diderot d'Alembert - 1767

6) On souhaite positionner sept autres étoiles.
Compléter le tableau, en utilisant éventuellement la fonction "TABLE" de votre calculatrice , après avoir affecté à la mémoire R la valeur trouvée au 2.

CASIO (type Graph 30)	TEXAS INSTRUMENTS (type TI 83)
valeur du 2) $\to$ R	valeur du 2) STO ▸ R
MENU TABLE SHIFT SET UP Angle : Deg Y= Rentrer en Y1 : R tan(45 – X/2)	MODE Degree Y= Rentrer en Y_1 : R tan(45 – X/2)
RANG Start : entrer la valeur – 16.7 End : entrer la valeur 0 pitch : entrer la valeur 0.1 EXE	2nd TBLSET TblStart = entrer la valeur – 16.7 ΔTbl = entrer la valeur 0.1 (choisir, si possible, Indpnt : Ask)
TABL	2nd TABLE éventuellement, introduire les valeurs de X

Arrondir OE à 10^{-2} près.

Etoile = E sur l'astrolabe	α = angle $\widehat{\gamma O E}$ dans le sens direct	δ = X	Distance OE = R tan(45 - X/2) ≈
Aldebaran	69,0°	16,5°	
Sirius	101,3°	- 16,7°	
α Grande Ourse	165,9°	61,8°	
Spica (Epi de la Vierge)	201,3°	- 11,2°	
Arcturus	213,9°	19,2°	
Vega	279,2°	38,8°	
Deneb	310,3°	45,3°	

7) Graduer le cercle de l'***écliptique***, en indiquant le 1er jour de chaque mois, d'après le tableau ci-dessous. Les ascensions droites du soleil sont données par les ***éphémérides*** (table des événements astronomiques), dans le sens direct à partir du point γ.

1er	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUI	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
α ≈	281,0°	314,1°	341,5°	9,9°	37,8°	68,5°	99,5°	130,8°	159,8°	186,8°	215,7°	246,6°

8) La représentation de l'équateur et du tropique du Cancer sur l'araignée ne sont plus utiles. Donner aux couronnes représentant l'écliptique et le tropique du Capricorne une épaisseur (vers l'intérieur) de 0,70 cm. Figurer les étoiles par des pointes et prévoir des renforts (voir l'image de la page 1).
Découper soigneusement (avec de petits ciseaux pointus...).

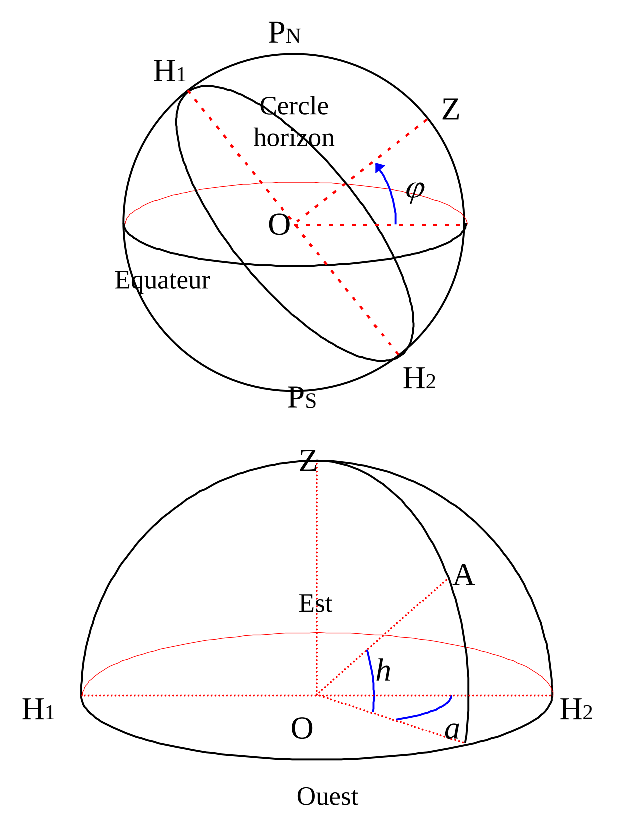
2 . CONSTRUCTION D'UN TYMPAN POUR LA LATITUDE φ

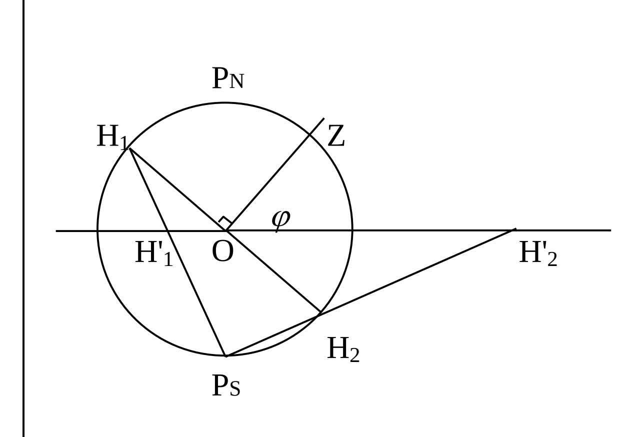
Depuis le lieu d'observation, les étoiles sont repérées par des ***coordonnées locales***, qui dépendent de l'endroit (latitude), de l'heure et de la date : l'***azimut*** *a* (en ° à partir du sud) et la **hauteur** *h* (angle en ° à partir de l'horizon) - voir schéma.

Sur un tympan correspondant à la ***latitude*** φ **(Paris** $\varphi \approx 48{,}9°$**)**, on représente, par la même projection stéréographique que pour l'araignée, les repères correspondant aux coordonnées locales.

Z est le ***zénith*** (la verticale du lieu d'observation). Le plan de l'***horizon*** est perpendiculaire à (OZ) : H_1 est l'horizon nord, H_2 est l'horizon sud.

A est un astre repéré à la latitude φ , à un instant, un jour donné, par son azimut *a* et sa hauteur *h*.



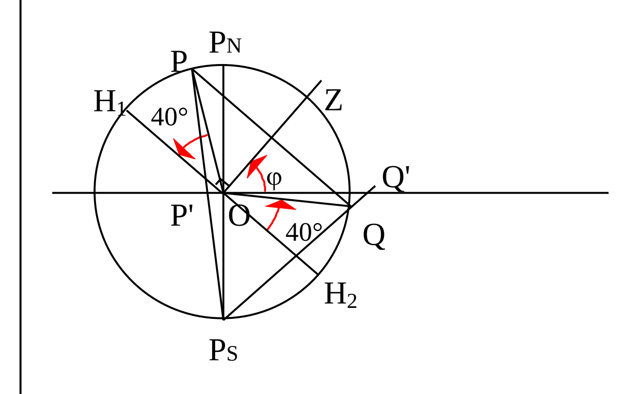


Coupe dans le plan OP_SZ

1) ***Représentation du cercle horizon :***
Tracer un cercle de centre O et de rayon 6,30 cm figurant le tympan pour la latitude de Paris. Le *cercle horizon* y sera représenté par le cercle de diamètre $[H'_1H'_2]$. Pour le tracer :

a) Calculer, à l'aide de la formule (1), la distance OH'_1 . Reporter sur le dessin un tel point H'_1 (indiquer en dessous : Nord).

b) Calculer, à l'aide de la formule (2), la distance OH'_2 . En déduire le rayon H'_1O' du cercle horizon, où O' est le milieu de $[H'_1H'_2]$. Placer le point O' sur le tympan, de sorte que H'_1 , O, O' soient alignés dans cet ordre.
Tracer l'arc de cercle de centre O' passant par H'_1 et contenu dans le tympan



2) ***Tracé d'un cercle d'égale hauteur :***
On souhaite représenter sur le tympan le *cercle d'égale hauteur* (*almucantarat*) correspondant aux astres situés à $h = 40°$.
Pour ce faire, on procède comme précédemment, pour tracer sur le tympan le cercle de diamètre [P'Q'].
a) Calculer, à l'aide de la formule (1), la distance OP'. Placer le point P' correspondant de sorte que P', O et O' soient alignés dans cet ordre.
b) Calculer, à l'aide de la formule (2), la distance OQ'. En déduire la distance P'I' où I' est le milieu de [P'Q'].
Placer le point I' de sorte que P', O, I' soient alignés dans cet ordre.
Tracer le cercle de centre I' passant par P' (y indiquer $h = 40°$).

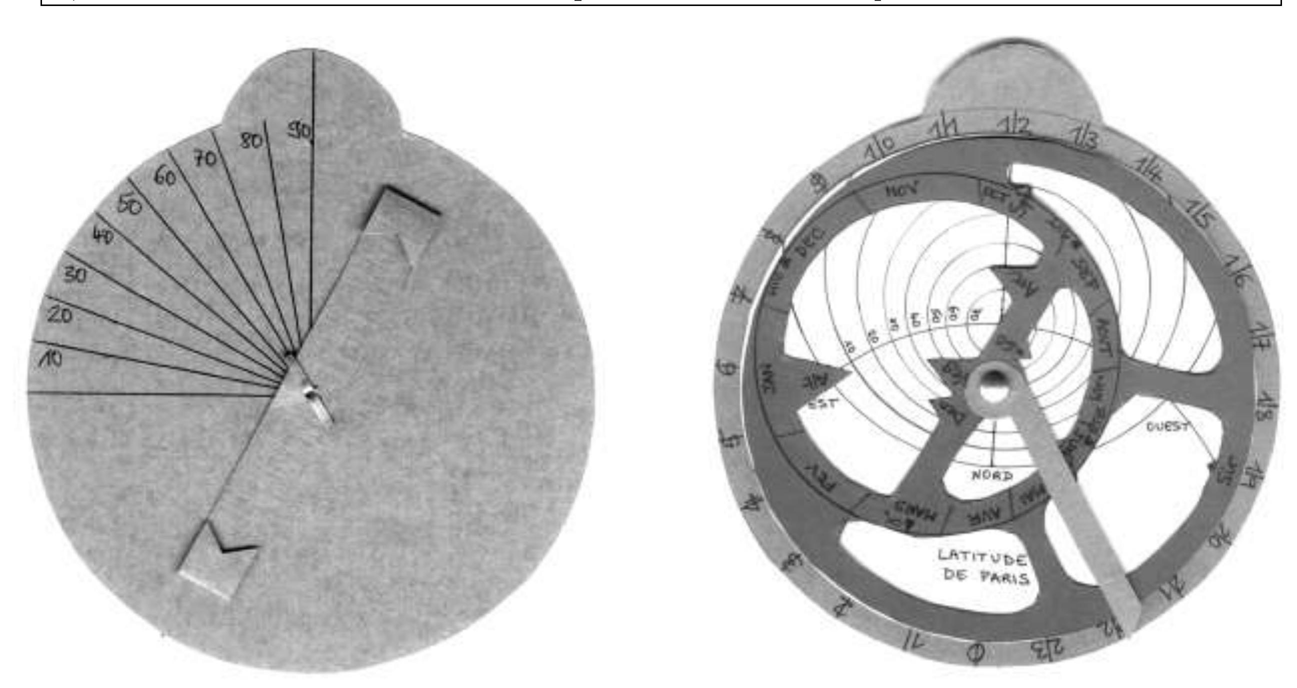
3) Compléter, à l'aide de la calculatrice, la table ci-dessous (on retrouvera les résultats correspondant à $h = 0°$ et $h = 40°$) en arrondissant à 10^2 près.
Tracer sur le tympan ces ***arcs de cercles d'égales hauteurs***, centrés sur l'axe OO'.

Hauteur h = X	Distance de O au centre de l'arc $R \cos \varphi \,/\, (\sin \varphi + \sin X)$ remplacer φ par la latitude souhaitée	Rayon de l'arc de cercle $R \cos X \,/\, (\sin \varphi + \sin X)$ remplacer φ par la latitude souhaitée
0° (horizon)		
10°		
20°		
30°		
40°		
50°		
60°		
70°		
90° (point *zénith* Z')		

4) On souhaite maintenant indiquer les ***quatre points cardinaux*** :
Le méridien céleste ***Nord/Sud*** est un arc de cercle de la sphère céleste passant par le pôle de projection stéréographique. Il est donc représenté par une droite sur l'astrolabe (voir les propriétés de la projection) passant par le centre O de l'astrolabe (étoile polaire). Tracer le segment contenu à l'intérieur de l'horizon et indiquer Nord et Sud à ses extrémités.
L'arc ***Est/Ouest***, ne passant pas par le pôle de projection, est représenté sur l'astrolabe par un arc de cercle. Il a pour diamètre [Z'N'] projections du ***zénith*** (à la verticale de Paris) et du ***nadir*** (diamétralement opposé, sur la sphère céleste au zénith).
Calculer ON' = $R \tan(45° + \varphi / 2)$ et en déduire le rayon (OZ' + ON') / 2 du cercle Est/Ouest.
Tracer cet arc de cercle de sorte que son centre Ω soit aligné avec O et Z', dans cet ordre.
Indiquer aux bords Est et Ouest (ne pas oublier que c'est une vue de dessus).

3 . MATRICE, ALIDADE, INDEX ET ASSEMBLAGE

1) Tracer une cercle de diamètre 14 cm constituant la ***matrice***, surmontée d'un "***trône***".
Sur une couronne de 0,70 cm autour de la matrice, on souhaite marquer une graduation permettant la lecture de l'heure.
Sachant que la Terre effectue 360° en 24h, à combien de degrés correspond 1 heure ?
Indiquer 0 h dans la direction du nord, 12 h dans la direction du sud (sous le trône), puis graduer les heures dans le sens négatif de rotation. Coller le tympan sur la matrice.
2) Confectionner une ***alidade*** dans une bande de 14 cm × 1,5 cm.
Graduer tous les 10° le quart de cercle supérieur gauche au dos de la matrice.
3) Préparer un ***index*** pour montrer l'heure (voir image ci-dessous).
4) Assembler le tout à l'aide de l'attache parisienne comme indiqué ci-dessous.



4 . EXEMPLES D'UTILISATION DE L'ASTROLABE

1) Lecture de l'heure la nuit

Nous sommes le 1er juillet (c'est les vacances!), Altaïr a été mesurée à 40° vers l'est. Placer l'araignée de sorte qu'il en soit ainsi.
Par alignement de O avec la position du soleil le 1er juillet, lire sur la graduation extérieure l'heure qu'il est (***heure solaire vraie***).

2) Détermination des heures de lever et coucher du Soleil

On souhaite déterminer l'heure du lever du Soleil le 1er avril à la latitude φ.
Placer la position du soleil ce jour à l'horizon Est. Quelle heure est-il ?
Quelle est l'heure du coucher du soleil le 1er avril à la latitude φ ?
Quelle est la durée du jour le 1er avril, à la latitude φ ?

3) Hauteur maximale du Soleil

Comparer la hauteur maximale du Soleil, à la latitude φ, le 1er janvier et le 1er août.

Corrigé et compte-rendu de l'activité
"CALCUL ET CONSTRUCTION D'UNE MAQUETTE D'ASTROLABE"

1 – Construction de l'araignée

2) D'après (2), OB' = R tan(45° + 23,5°/2) , or on a pris comme rayon de l'araignée OB' = 6,30 cm.

Donc R = $\frac{6{,}30}{\tan 56{,}75°} \approx 4{,}13\text{cm}$.

3) D'après (1),

OA' = Rtan(45° - $\frac{23{,}5°}{2}$) ≈ 2,71 cm.

5) D'après (1), pour A = Altaïr, OA' = R tan(45° - $\frac{8{,}8°}{2}$) ≈ 3,54 cm.

6) Tableau complété :

Etoile = E sur l'astrolabe	Ascension droite α = angle γOE dans le sens direct	Déclinaison δ = X	Distance OE = R tan(45 - X/2) ≈
Aldebaran	69,0°	16,5°	3,08
Sirius	101,3°	- 16,7°	5,55
α Grande Ourse	165,9°	61,8°	1,04
Spica (Epi)	201,3°	- 11,2°	5,03
Arcturus	213,9°	19,2°	2,94
Vega	279,2°	38,8°	1,98
Altaïr	297,7°	8,9°	3,53
Deneb	310,3°	45,3°	1,70

2 – Construction d'un tympan

Les calculs sont donnés pour la latitude de Paris.

1) *Remarque* : la projection du cercle horizon de diamètre [H_1H_2] est le cercle de diamètre [$H'_1H'_2$]. Le diamètre est ici conservé car le plan du cercle horizon est orthogonal à celui passant par H_1 , H_2 et le pôle P_S de projection : sur la sphère, le cercle horizon est orthogonal au cercle ($H_1H_2P_S$) ; la projection stéréographique conservant l'orthogonalité, la projection du cercle horizon est orthogonale à la projection du cercle ($H_1H_2P_S$) qui est la droite ($H'_1H'_2$). Cette droite passe donc par le centre du cercle horizon projeté et en donne ainsi un diamètre. Cette remarque est également valable pour les autres cercles de hauteur (cette difficulté n'a pas été évoquée en classe).

1.a) D'après (1), on a OH'_1 = R tan(45° - $\frac{180°-90°-\varphi}{2}$) avec φ = **48,9°**

d'où OH'_1 = R tan 24,45° ≈ 1,88 cm.

1.b) D'après (2), OH'_2 = R tan(45° + $\frac{90°-\varphi}{2}$) ≈ 9,08 cm.

D'où $H'_1H'_2 = H'_1O + OH'_2$ ≈ 10,96 cm

Et le rayon de l'arc horizon : $H'_1O' = \frac{1}{2} H'_1H'_2$ ≈ 5,48 cm.

2.a) D'après (1), OP'= R tan(45° - $\frac{P\hat{O}P'}{2}$) = R tan(45° - $\frac{180°-50°-\varphi}{2}$) ≈ 0,32 cm.

2.b) D'après (2), OQ' = R tan(45° + $\frac{Q'\hat{O}Q}{2}$) = R tan(45° + $\frac{90°-\varphi-40°}{2}$) ≈ 4,21 cm.

On en déduit que P'I' = $\frac{1}{2}$ P'Q' = $\frac{1}{2}$ (P'O + OQ') ≈ 2,27 cm (rayon de l'arc de hauteur h=40°).

3) Tableau complété :

Hauteur h = X	Distance de O au centre de l'arc R cos 48,9 / (sin 48,9 + sin X)	Rayon de l'arc de cercle R cos X / (sin 48,9 + sin X)
0° (horizon)	3,60	5,48
10°	2,93	4,39
20°	2,48	3,54
30°	2,17	2,85
40°	1,94	2,27
50°	1,79	1,75
60°	1,68	1,28
70°	1,60	0,83
90° (point zénith Z')	1,55	0

4) Arc Est/Ouest : on trouve ON' ≈ 11,02 cm.
D'où le rayon de l'arc Est/Ouest qui égale ΩZ' : (OZ'+ON')/2 ≈ (1,55 + 11,02) / 2 ≈ 6,28 cm.

3 - Matrice et assemblage

1 heure correspond à 15°.

4 – Exemples d'utilisation de l'astrolabe

Les résultats sont donnés pour la latitude de Paris.
1) Il est environ 22h30 (« heure solaire vraie »). La précision est de l'ordre du quart d'heure.
2) Lever du soleil aux environs de 5h45 et coucher du soleil aux environs de 18h15 («heure solaire vraie»). La durée du jour le 1er avril à Paris est donc de 12h30.
3) Le 1er janvier, à Paris, la hauteur maximale du Soleil au dessus de l'horizon (à midi solaire vrai) est d'environ 18°. Cette hauteur maximale le 1er août est d'environ 60°.

COMPTE-RENDU DES SEANCES

DUREE

Deux séances de modules (1h30 chacune) : la première pour une description générale de l'instrument et la construction de l'araignée (à terminer à la maison), la seconde pour la construction du tympan (à finir à la maison).
Une heure en classe entière : contrôle des maquettes et premières utilisations de l'instrument (§4).

ORGANISATION

Une partie du travail est à terminer à la maison (compléter certains tableaux de calculs par exemple, finir des tracés pour les plus lents). Avec des tracés d'abord réalisés au crayon, les maquettes sont relevées et notées. Puis, après rectifications éventuelles, les tracés sont repassés au stylo.

DEROULEMENT

En raison de la réalisation progressive de la maquette (les tracés demandent une certaine concentration), les élèves sont attentifs et participent volontiers aux calculs. La construction de l'objet permet de faire "passer la pilule" d'une théorie assez compliquée, aux concepts abstraits et aux calculs parfois austères. Les élèves se rendent bien compte de la difficulté de ce qu'ils font, mais y adhèrent complètement. Ils apprécient qu'on les prenne au sérieux, qu'on les juge capables d'une telle abstraction et sont impressionnés par l'ingéniosité des anciens, qui ont, il y a 2000 ans, conçus cet instrument.





CONCEPTION D'UN ASTROLABE EN LAITON

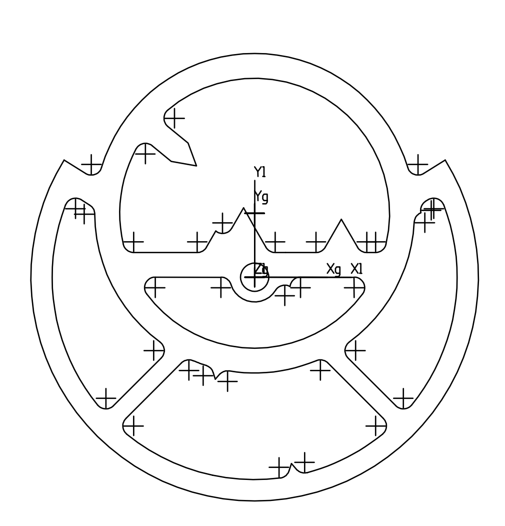
1 - DONNEES DE DEPART

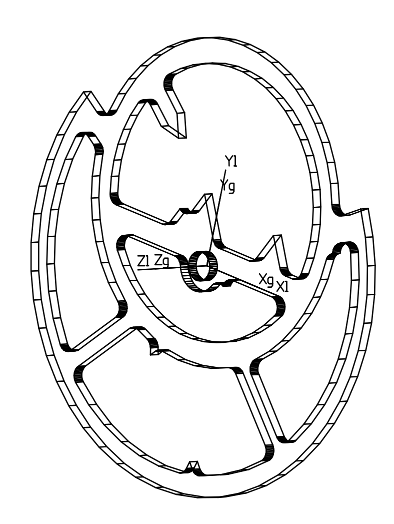
- **Un astrolabe en carton** réalisé par la classe de seconde.
- **Un tableau indiquant les dimensions et les angles remarquables**. Ce tableau est celui qui a permis la réalisation de l'astrolabe en carton.
- **Un choix du matériau**. L'équipe désirait produire un astrolabe conforme aux matériaux traditionnels. Le choix s'est donc porté sur du laiton (alliage de cuivre et de zinc), matériau commercialisé sous les formes correspondant à notre attente (tôles et barres cylindriques).
  Ce matériau est particulièrement adapté à la photogravure qui permet de réaliser toute la partie graphique et à l'usinage qui permet de réaliser les formes extérieures et intérieures des pièces.

2 - PRODUCTION FINALE

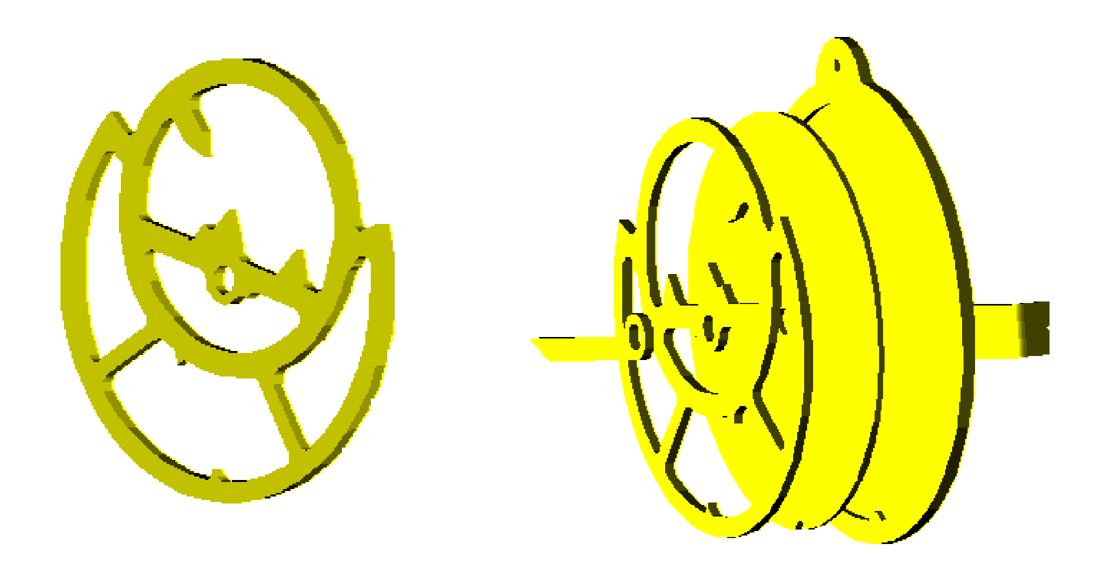
Le dessin de définition de chaque pièce

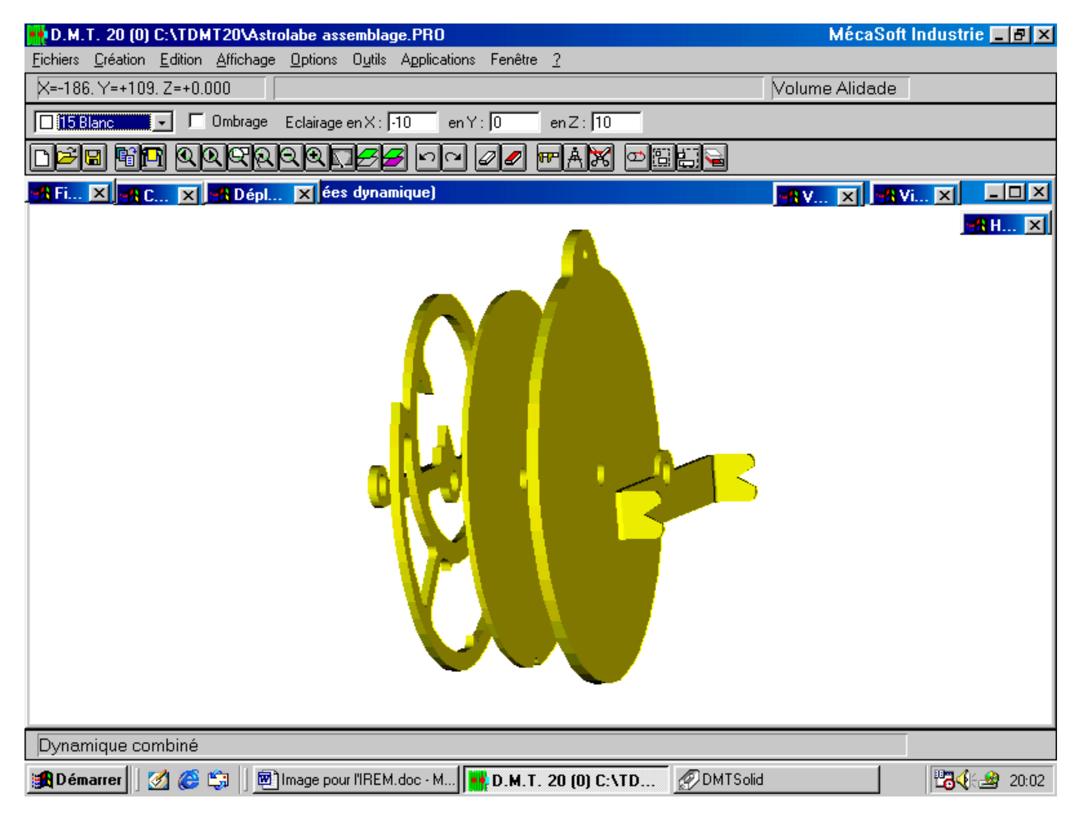
- **Les formes extérieures et intérieures** sont dessinées en filaire puis transformées en volumique (développé sous logiciel de DAO DMT20).





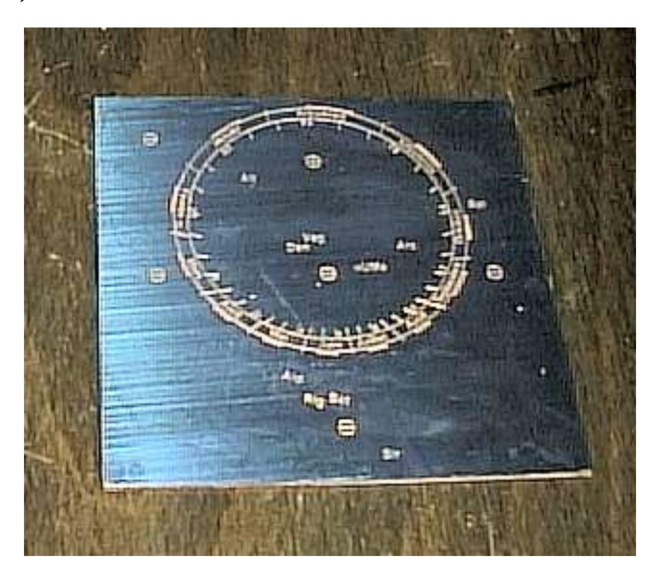
Le dessin de chaque pièce en volumique permet, par assemblage, de créer une vue virtuelle de l'objet afin d'en valider l'esthétique.



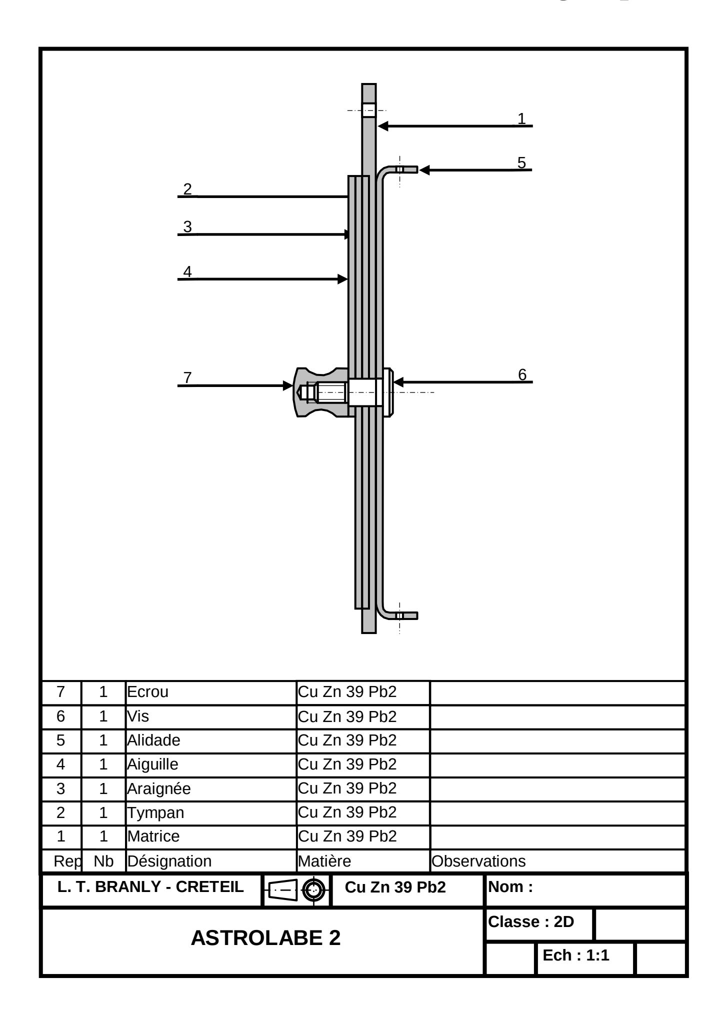


Ces formes sont ensuite récupérées pour créer les trajectoires d'usinages exploitées par nos machines à commande numérique (Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur).

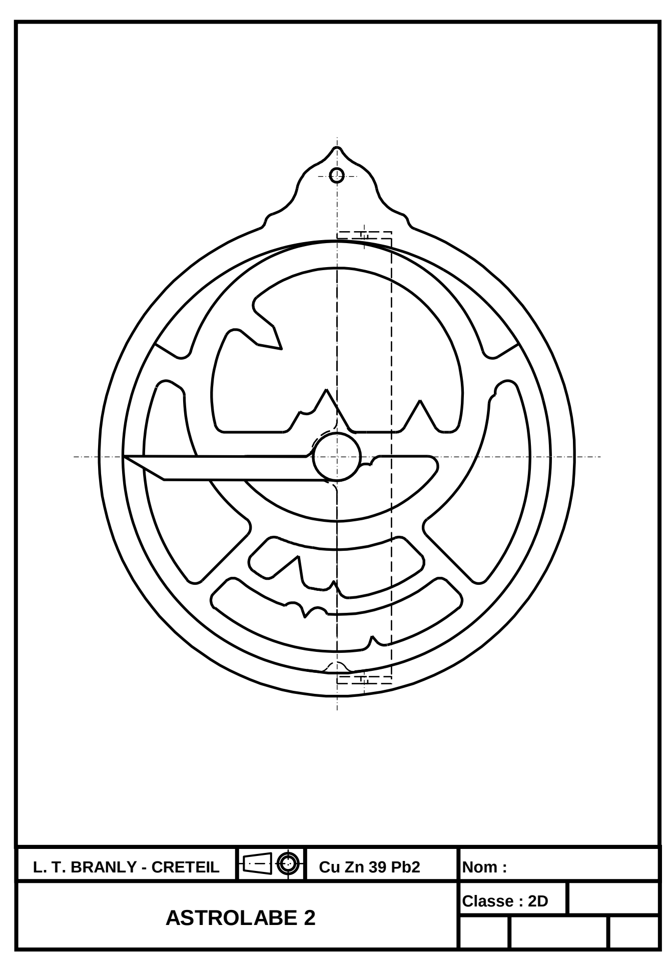
- **Les Gravures** qui vont permettre de produire le film de photogravure (développé sous logiciel Designer)



- **Le dessin d'ensemble regroupant toutes les pièces de l'astrolabe**



Rep	Nb	Désignation	Matière	Observations
7	1	Ecrou	Cu Zn 39 Pb2	
6	1	Vis	Cu Zn 39 Pb2	
5	1	Alidade	Cu Zn 39 Pb2	
4	1	Aiguille	Cu Zn 39 Pb2	
3	1	Araignée	Cu Zn 39 Pb2	
2	1	Tympan	Cu Zn 39 Pb2	
1	1	Matrice	Cu Zn 39 Pb2	



3 - LE NIVEAU D'INTERVENTION DES ELEVES DANS LA CONCEPTION

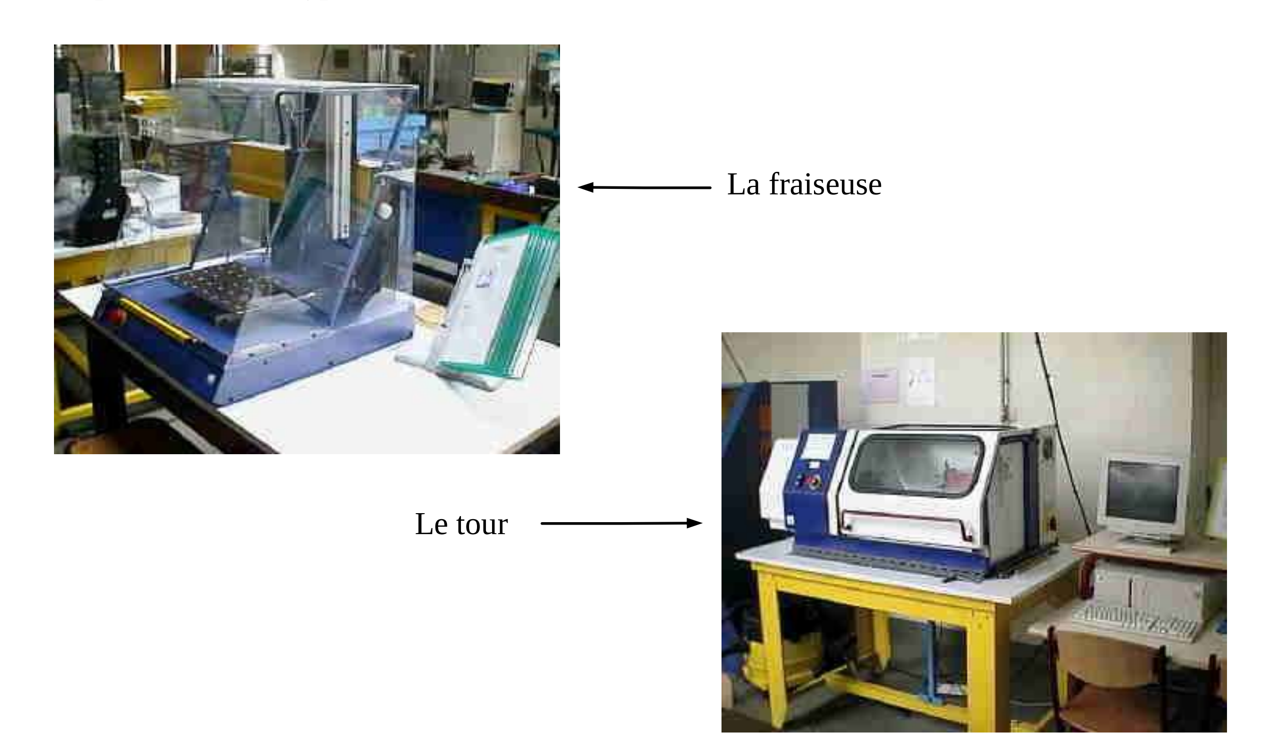
Les élèves de secondes débutent dans le domaine technique. La conception du produit doit se faire en amont. Il n'est donc pas possible d'y impliquer les élèves.
En revanche, dès que leur niveau de maîtrise du logiciel de DAO le permet (avril et mai), les élèves vont refaire la démarche de dessiner les pièces de l'astrolabe en partant des dessins de définition.
Ils auront également accès à la visualisation volumique des pièces qu'ils auront dessinées.

4 - ETUDE DE FAISABILITE ET PREPARATION A LA FABRICATION

FAISABILITE TECHNIQUE

Nos moyens de production permettent-ils de mener à bien cette fabrication ?
(Types de machines disponibles, puissances, précisions….)
La complexité de forme de certaines pièces composant l'astrolabe impose l'utilisation de machine à commande numérique. Des logiciels de **C**onception et **F**abrication **A**ssistées par **O**rdinateur (CFAO) permettent en effet, à partir du dessin des pièces, de créer les trajectoires d'usinage des pièces.

Le bilan des éléments du parc des machines à commande numérique, permettant de produire des pièces d'astrolabe, est le suivant :
Un ***tour*** didactique permet de produire les pièces de révolution (vis et écrou).
Une ***fraiseuse*** de faible puissance permet d'usiner la totalité des autres pièces de l'astrolabe.
Un ***centre d'usinage*** (fraiseuse avec changement automatique d'outils) permet d'usiner l'alidade, l'aiguille ainsi que les formes intérieures de l'araignée. L'amplitude maximum de ses déplacements ne permet pas d'usiner les autres formes.
La précision de ce type de machines, de l'ordre du dixième de millimètre, est satisfaisante.





← Le centre d'usinage

FAISABILITE TEMPORELLE

Nos moyens techniques et le temps possible à y consacrer permettent-ils de mener à bien cette fabrication ? (Nombre de semaines, temps de production……)

La vérification de la faisabilité temporelle nécessite d'avoir produit :

- Un avant projet d'étude de fabrication détaillant le processus de fabrication de chaque pièce.
- Une ventilation des différentes phases de fabrication sur les machines disponibles en essayant d'équilibrer les taux de charge.
- Un chiffrage des temps de fabrication de chaque phase.

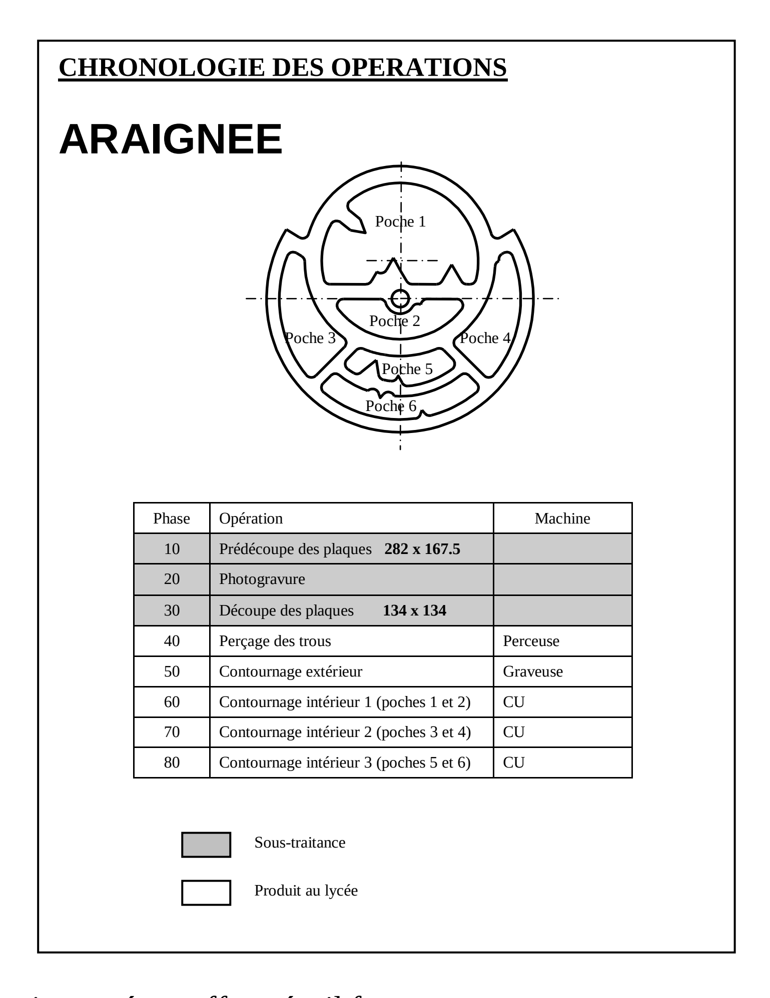
Cette étude a amené aux conclusions suivantes :

- La production de 30 astrolabes prend 16 semaines (8 semaines par groupe) sur les 28 semaines ouvrables de l'année scolaire.
- La fraiseuse et le centre d'usinage devront être entièrement utilisés à cette production (taux de charge de 100%), le tour à commande numérique ne sera utilisé que la moitié du temps et laissera donc le champ libre à une autre production.
- Il est préférable de débuter la production le plus tard possible car cela permet à la classe :
    - ❑ D'exploiter le projet dans les autres matières avant de débuter la production (fabrication des astrolabes en carton par exemple)
    - ❑ D'acquérir les compétences nécessaires à la production des pièces et à la compréhension des processus mis en œuvre.

PREPARATION TECHNIQUE

SUR CHAQUE PIECE :

Il est nécessaire, tout d'abord de définir la chronologie des usinages à effectuer sur chaque pièce.



CHRONOLOGIE DES OPERATIONS

ARAIGNEE

Phase	Opération	Machine
10	Prédécoupe des plaques **282 x 167.5**	
20	Photogravure	
30	Découpe des plaques **134 x 134**	
40	Perçage des trous	Perceuse
50	Contournage extérieur	Graveuse
60	Contournage intérieur 1 (poches 1 et 2)	CU
70	Contournage intérieur 2 (poches 3 et 4)	CU
80	Contournage intérieur 3 (poches 5 et 6)	CU

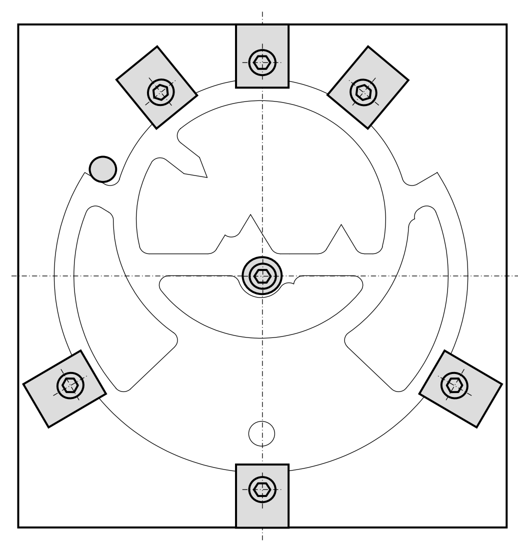
Sous-traitance

Produit au lycée

La chronologie des usinages étant effectuée, il faut :

- Définir la mise en position des pièces sur les machines.
- Concevoir les programmes des machines à commande numérique :
  - Récupération des dessins de définition.
  - Création des programmes utilisés par les machines à commande numérique en Fabrication Assistée par Ordinateur.
- Concevoir et réaliser les outillages assurant la liaison pièce/machine.
- En fin de préparation, les processus sont validés par la réalisation des pièces en Plexiglas.





PREPARATION DE LA GESTION DE FABRICATION

Les temps prévisionnels de fabrication pour chaque phase étant connus :

- **On définit les lots de pièces**. Il s'agit d'une série de pièces identiques qui seront usinées en série sur une machine pendant une séquence de fabrication.

Plan de production

Graveuse

	Sem 1		Sem 2		Sem 3		Sem 4		Sem 5		Sem 6		Sem 7		Sem 8		Total
Pièces en phases	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	
Araignée 50	**2**	**2**			**2**	**2**	**2**	**2**			**2**	**2**					16
Tympan 50	**2**	**2**			**2**	**2**	**2**	**2**			**2**	**2**					16
Matrice 60, 70			**2**	**2**					**2**	**2**			**2**	**2**	**2**	**2**	16

Centre d'usinage

	Sem 1		Sem 2		Sem 3		Sem 4		Sem 5		Sem 6		Sem 7		Sem 8		Total
Pièces en phases	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	
Araignée 60 à 80			**2**	**2**			**2**	**2**	**2**	**2**			**2**	**2**			16
Aiguille 50 à 60	**2**	**2**			**2**	**2**					**2**	**2**			**2**	**2**	16
Alidade 30	**2**	**2**			**2**	**2**					**2**	**2**			**2**	**2**	16

- **On définit les ordres de fabrication**. Il s'agit d'indiquer aux élèves la production qu'ils auront à effectuer pendant la séquence (2 heures).

Plan de production

Graveuse

<table>
<tr><th>Semaine</th><th>Séance</th><th>Machine</th><th>Pièces</th><th>En phase</th><th>N° lot</th><th>OF</th></tr>
<tr><td rowspan="10">1</td><td rowspan="5">A</td><td>Perceuse</td><td>2 matrices</td><td>40</td><td>9</td><td>2</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Graveuse</td><td>2 araignées</td><td>50</td><td>1</td><td rowspan="2">3</td></tr>
<tr><td>2 tympans</td><td>50</td><td>2</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Centre</td><td>2 aiguilles</td><td>50, 60</td><td>3</td><td rowspan="2">4</td></tr>
<tr><td>2 alidades</td><td>30</td><td>4</td></tr>
<tr><td rowspan="5">B</td><td>Perceuse</td><td>2 matrices</td><td>40</td><td>10</td><td>5</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Graveuse</td><td>2 araignées</td><td>50</td><td>5</td><td rowspan="2">6</td></tr>
<tr><td>2 tympans</td><td>50</td><td>6</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Centre</td><td>2 aiguilles</td><td>50, 60</td><td>7</td><td rowspan="2">7</td></tr>
<tr><td>2 alidades</td><td>30</td><td>8</td></tr>
</table>

LE NIVEAU D'INTERVENTION DES ELEVES :

Les élèves de seconde ne possèdent pas les connaissances techniques permettant d'intervenir dans ce domaine.

Leur intervention se limite donc à vérifier la conformité du processus en validant notamment les temps de fabrication.

4 - LA PHOTOGRAVURE

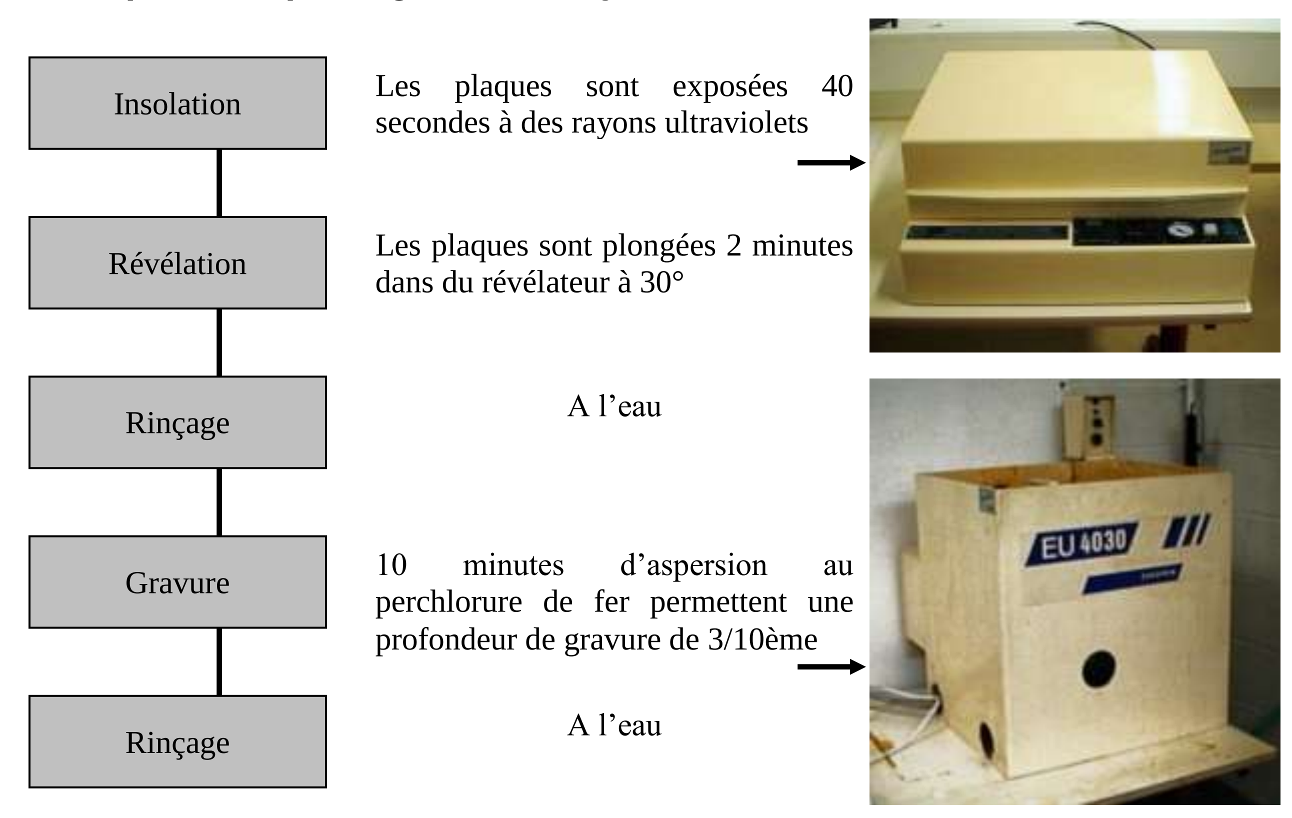
Situation dans le processus de production

Les plaques de laiton sont d’abord découpées au format (335 x 167,5 mm).
Elles sont ensuite photogravées par attaque chimique.
Enfin elles sont usinées (2 passages minimum sur différentes machines-outils). Le positionnement des pièces sur les machines utilise des repères photogravés ce qui explique la chronologie des opérations.

Principe de la photogravure

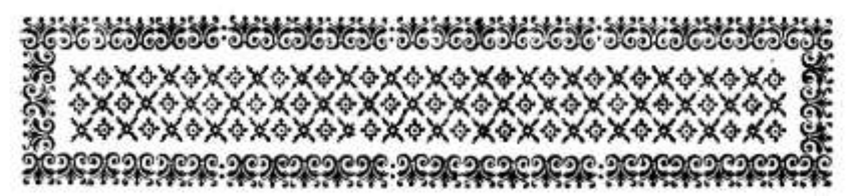
La photogravure reprend, d’une manière générale, le principe du tirage de photos sur papier.
Les plaques de laiton sont **sensibilisées à la lumière** par collage d’un film. Cette opération est effectuée par une entreprise spécialisée (société RPCI à Courbevoie).
Un **film transparent** est réalisé qui servira de cache.
On **expose les plaques**, à travers le film, à des rayons ultraviolets.
Les plaques sont ensuite **révélées**. La partie du film photosensible exposée à la lumière est conservée, le reste est dilué et le laiton est à nu.
Vient ensuite **la phase de gravure** où les plaques sont aspergées de perchlorure de fer. Les parties non protégées sont donc gravées.

Pratique de la photogravure au lycée



Implication des élèves

La technique de photogravure est simple et accessible aux élèves de secondes.
En revanche, elle utilise un produit qu’il faut éviter d’inhaler (le révélateur). Il est donc très délicat d’exposer des élèves à ce type de produit. Un système d’aspiration adéquat sera bientôt posé et cela permettra aux élèves d’assurer leur production.



PRODUCTION DES ASTROLABES PAR LES ELEVES

LA PRODUCTION

La production de 30 astrolabes s'étend sur 16 semaines. Elle concerne directement 4 binômes élèves chaque semaine. Un 5ème binôme se forme à la programmation des machines à commande numérique en utilisant, comme support d'étude, des pièces de l'astrolabe.
Cette production utilise 3 machines à commande numérique et une machine conventionnelle.

Le niveau d'intervention des élèves

Au poste de gestion de la production

Le binôme élèves chargé de la gestion de production doit :

- Créer et suivre la vie des lots de pièces en fonction du planning prévisionnel qu'il possède.
- Rédiger et ventiler les ordres de fabrication vers les postes d'usinage.
- Ventiler les lots de pièces et les outillages vers les postes d'usinage.
- En fin de séance, récupérer les pièces usinées et les ordres de fabrication.
- Archiver les ordres de fabrication et les fiches de contrôle afin d'assurer la traçabilité de la production.

Sur le temps laissé libre par les autres tâches, il doit assurer les opérations de perçages indiquées dans le planning prévisionnel.

Sur les postes d'usinage

Le binôme élèves doit :

***Se documenter* :**

- Prendre en main la machine et le logiciel de pilotage.
- Effectuer une simulation à l'écran d'un cycle.

Prendre en compte la production : A partir du planning prévisionnel :

- Identifier et aller chercher l'ordre de fabrication, les lots de pièces et les outillages les concernant.
- Se documenter sur la production qui lui est demandé.

Produire :

- Mettre en œuvre la machine : vérifier ou effectuer les réglages nécessaires.
- Monter le porte-pièces sur la machine, appeler et simuler le programme.
- Usiner le lot de pièces.
- Valider les temps prévisionnels de productions par chronométrage.

Contrôler :

- Contrôler la conformité de la production par rapport au cahier des charges.
- Remplir les documents de contrôle (suivit de la qualité).

DOCUMENTS EN ANNEXE

Les documents fournis en annexe donnent quelques exemples des types de documents que les élèves doivent exploiter.

Conception du produit

Dessins d'ensemble
Dessin de définition de l'araignée
Planning des postes

Exemple de production de l’araignée

Chronologie des usinages

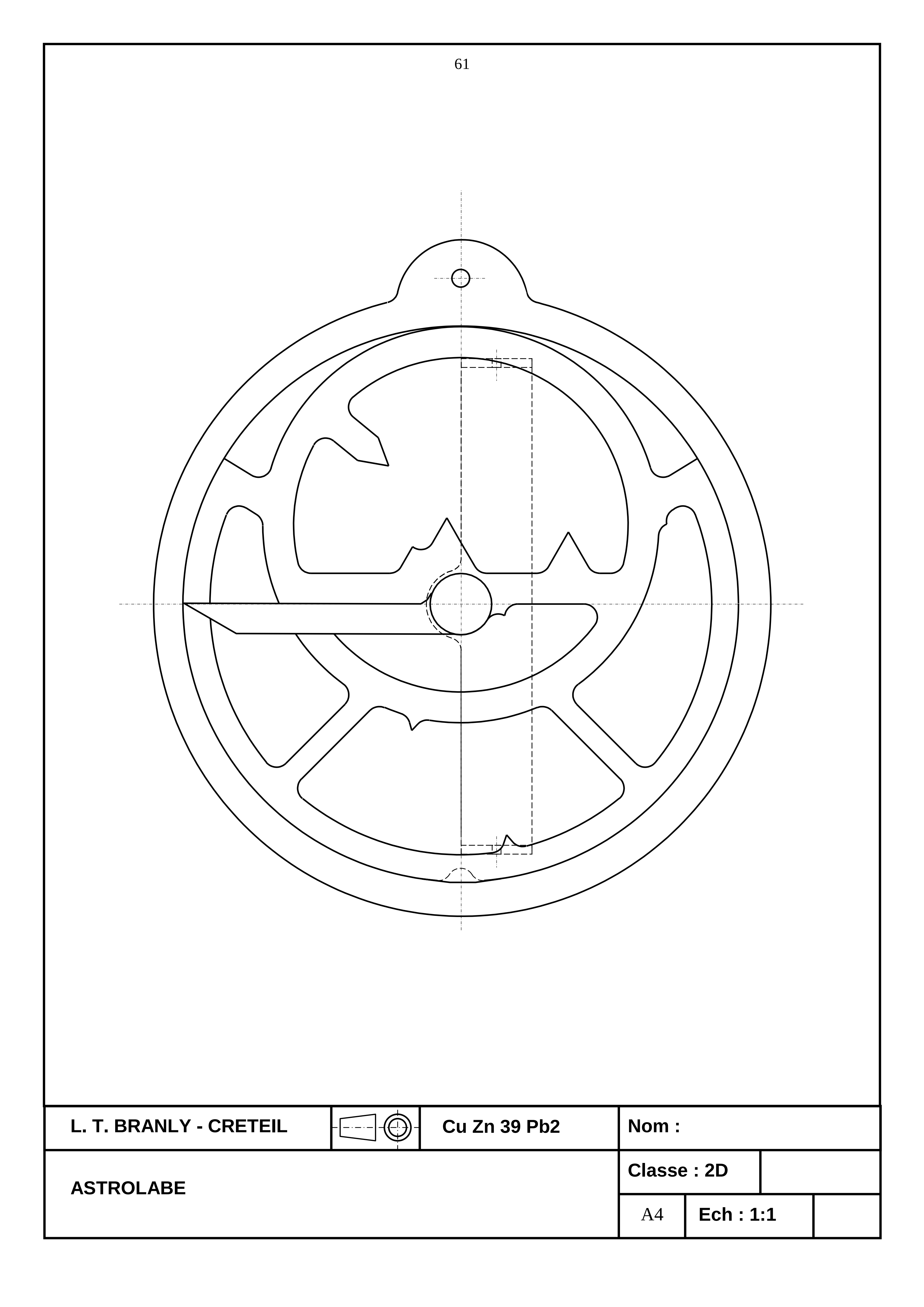
Production de l'araignée en phase 50

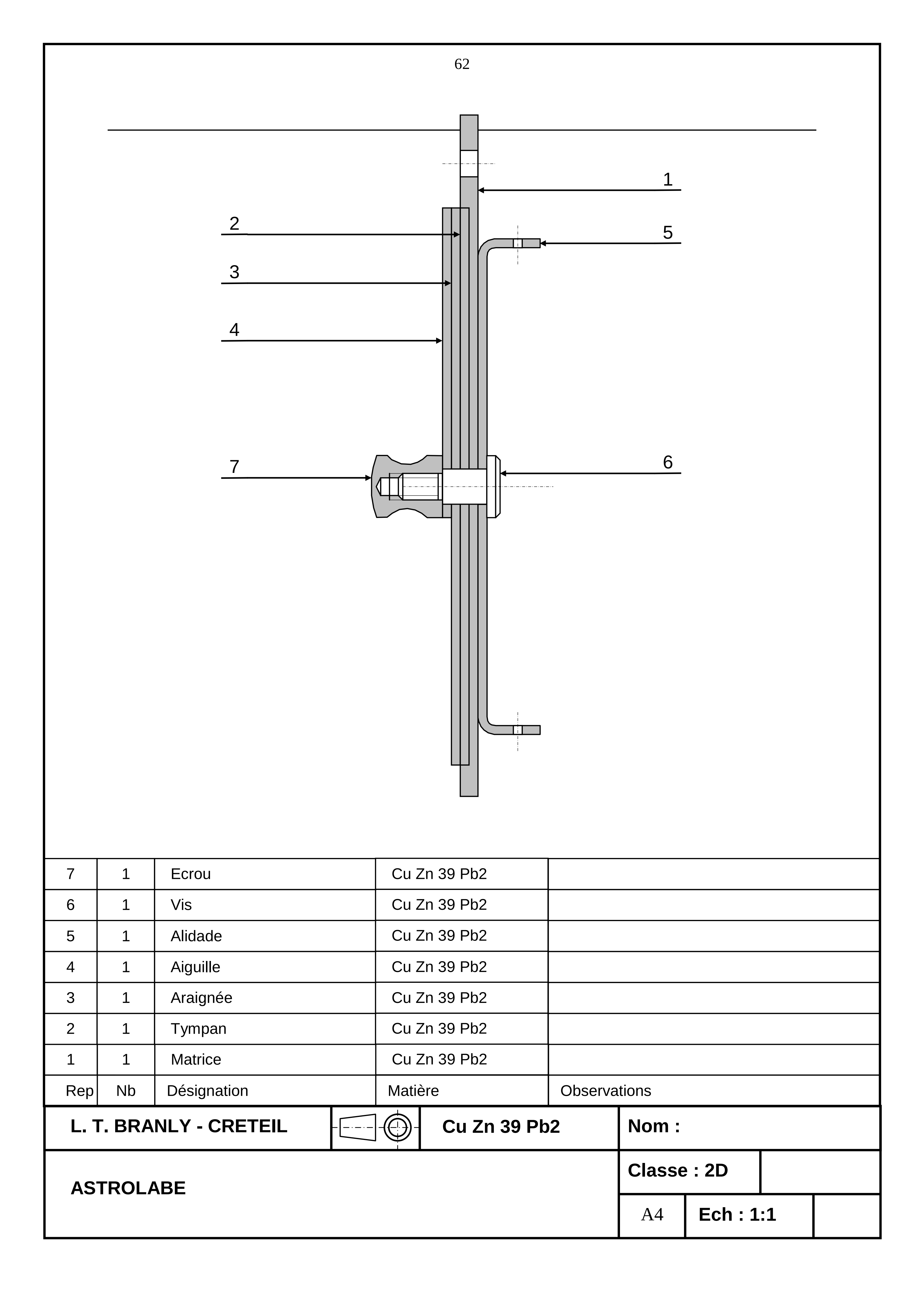
Documents techniques

Fiche de présentation
Contrat de phase
Fiche de préparation
Fiche de contrôle

Les documents de gestion de fabrication

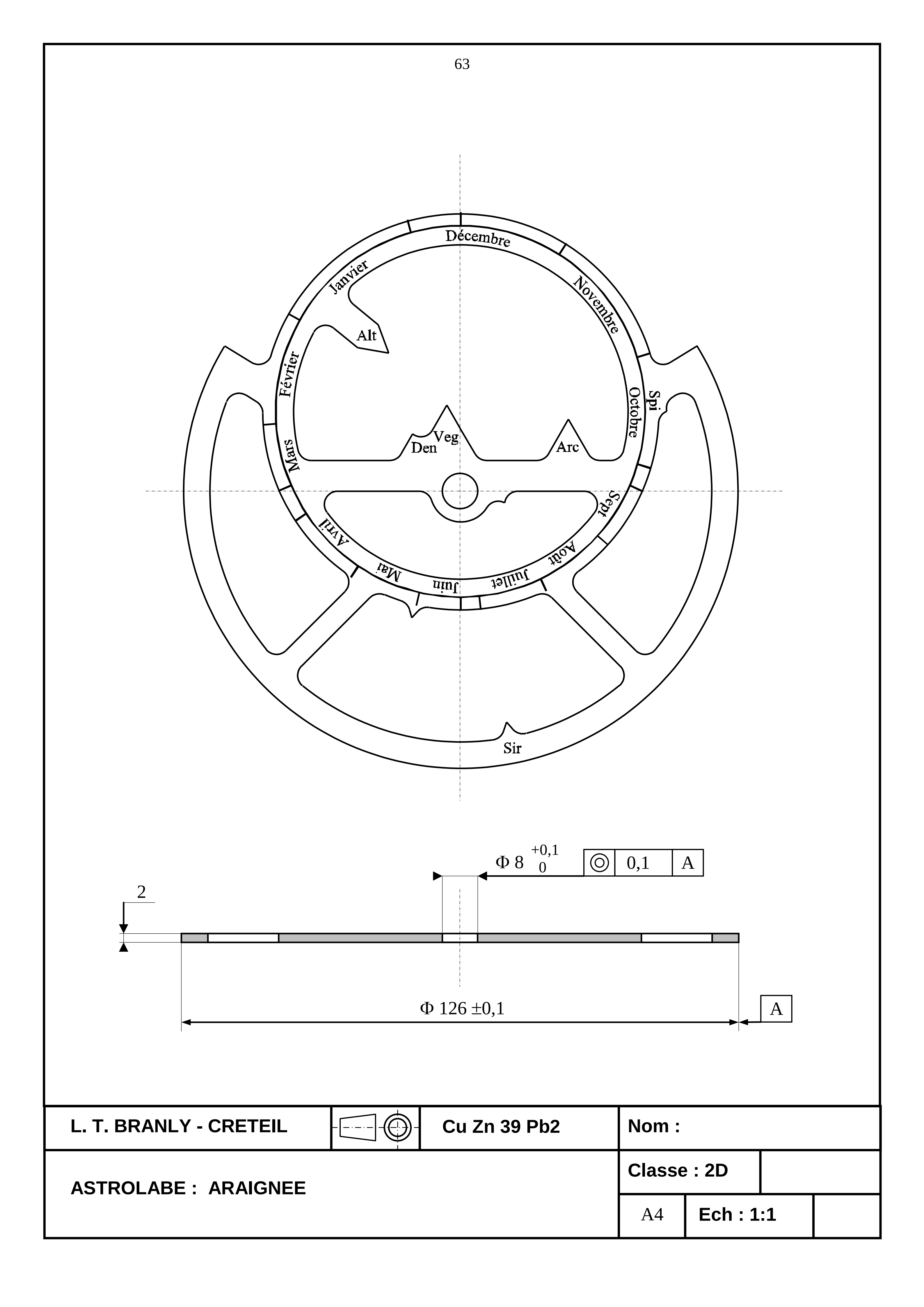
Temps prévisionnels d'usinage
Planning de production


L. T. BRANLY - CRETEIL
Cu Zn 39 Pb2
Nom :
ASTROLABE
Classe : 2D
A4
Ech : 1:1



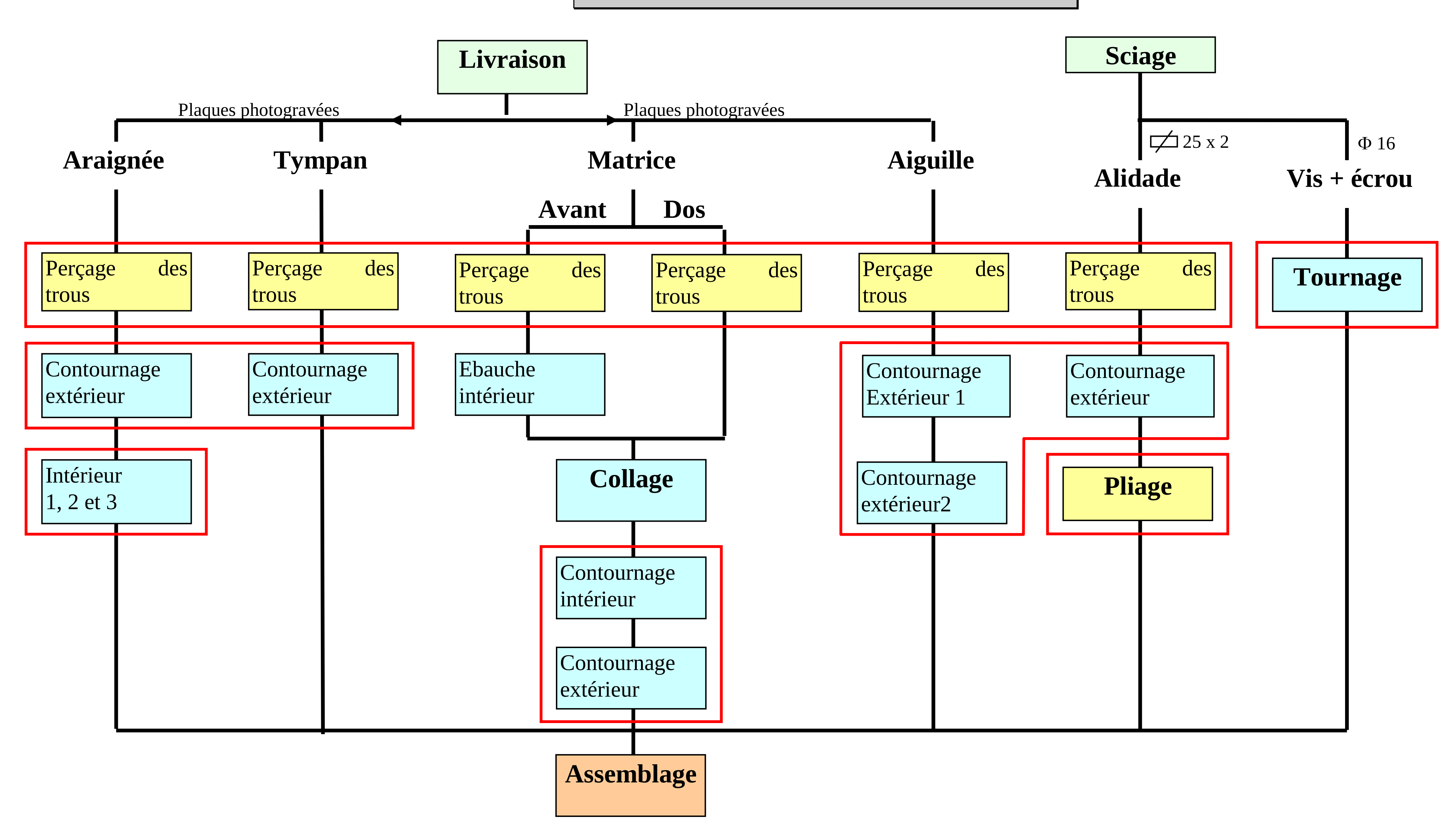
Rep	Nb	Désignation	Matière	Observations
7	1	Ecrou	Cu Zn 39 Pb2	
6	1	Vis	Cu Zn 39 Pb2	
5	1	Alidade	Cu Zn 39 Pb2	
4	1	Aiguille	Cu Zn 39 Pb2	
3	1	Araignée	Cu Zn 39 Pb2	
2	1	Tympan	Cu Zn 39 Pb2	
1	1	Matrice	Cu Zn 39 Pb2	

L. T. BRANLY - CRETEIL		**Cu Zn 39 Pb2**	**Nom :**
ASTROLABE			**Classe : 2D**
			A4 — **Ech : 1:1**



L. T. BRANLY - CRETEIL		Cu Zn 39 Pb2	Nom :
ASTROLABE : ARAIGNEE			Classe : 2D
			A4 — Ech : 1:1

64


ASTROLABE : PLANNING DES POSTES
Livraison
Sciage
Plaques photogravées
Plaques photogravées
Araignée
Tympan
Matrice
Aiguille
25 x 2
Φ 16
Alidade
Vis + écrou
Avant
Dos
Perçage des trous
Perçage des trous
Perçage des trous
Perçage des trous
Perçage des trous
Perçage des trous
Tournage
Contournage extérieur
Contournage extérieur
Ebauche intérieur
Contournage Extérieur 1
Contournage extérieur
Intérieur 1, 2 et 3
Collage
Contournage extérieur2
Pliage
Contournage intérieur
Contournage extérieur
Assemblage

ASTROLABE
FRAISAGE CN
GRAVEUSE

Fonction du poste :

Sur ce poste, vous allez usiner des lots de pièces composant les astrolabes dans différentes phases.
Vous **contrôlerez la conformité** des pièces après votre intervention.
Vous participerez au **suivi qualité** du produit.

Chronologie des opérations à effectuer

Se documenter :
Prendre connaissance de la documentation du poste de travail

Vous disposez :
- Du dossier machine

Prendre en compte la production :
Au magasin:
- Aller chercher votre ordre de fabrication et vos lots de pièces

Sur le poste de travail:
- Vous documenter sur les phases d'usinage à effectuer

Vous disposez :
- Des documents de gestion
- Des documents de fabrication

Produire :
- Préparer le poste de travail pour chaque phase à effectuer
- Usiner les lots de pièces de votre ordre de fabrication

Vous disposez :
- De l'ordre de fabrication
- Des documents de fabrication

Contrôler :
- Contrôler les lots de pièces usinées
- Assurer le suivi qualité

Vous disposez :
- Des fiches de contrôle

Vous remplissez :
- La fiche de contrôle
- L'ordre de fabrication (contrôle)

SE DOCUMENTER

Objectifs :	Savoir lancer une phase de production sur le centre d'usinage. Comprendre et savoir utiliser les documents de gestion du poste.

Vous disposez :

- Du dossier machine de la graveuse.

Vous devez :

- Savoir lancer une phase d'usinage sur le centre d'usinage.
- ❑ Effectuer la prise d'origine machine.
- ❑ Charger un programme.
- ❑ Le simuler à l'écran.

PRENDRE EN COMPTE LA PRODUCTION

Objectifs :	Connaître l'ordre de fabrication sur lequel vous allez intervenir et les lots de pièces le composant. Extraire et consulter les documents de production nécessaires.

Vous disposez :

- Des documents de gestion.

Vous devez :

- Prévoir l'ordre de fabrication et les lots de pièces qui vous seront remis par le magasin.
- Aller chercher au magasin votre ordre de fabrication et vos lots de pièces.

Vous disposez :

- De votre ordre de fabrication.

Vous devez :

Pour chaque phase d'usinage :

- Extraire du classeur les documents suivants :
  - ❑ La fiche de présentation de la phase.
  - ❑ Le contrat de phase.
  - ❑ La fiche de préparation de la phase.
- Consulter ces documents.

PRODUIRE

Objectifs: Usiner les lots de pièces conformément à l'ordre de fabrication qui vous a été remis.

1 – Préparer la machine pour l'usinage à effectuer

- Placer le montage d'usinage sur la machine.
- Vérifier que l'outil monté est le bon.
- Charger le programme en mémoire.
- Simuler le programme à l'écran.
- Monter la première pièce de la série, la serrer.

Faire impérativement valider votre préparation par le professeur

2 – Usiner la première pièce du lot

3- Contrôler sa conformité

- Si elle est conforme, usiner les autres pièces du lot.
- Si elle n'est pas conforme, appeler le professeur.

Renouveler les points précédents pour les autres phases de votre ordre de fabrication

CONTROLER, GERER

Objectifs : S'assurer de la conformité des pièces produites
Assurer le suivi qualité.

Vous disposez :

- Des fiches de contrôle des phases.

Vous devez :

Pour chaque phase d'usinage :

- Contrôler chaque pièce.
- Remplir la fiche de contrôle.
- Remplir l'ordre de fabrication (rubrique contrôle).

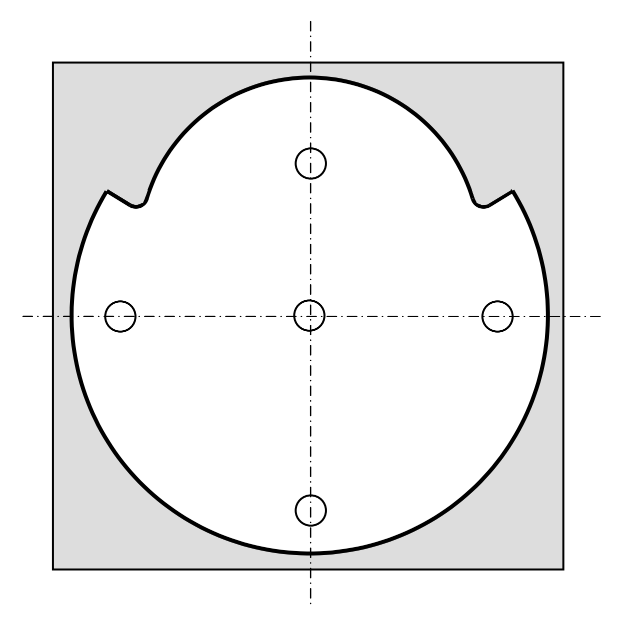
En fin de séquence

Vous devez rendre au magasin :

- Votre ordre de fabrication et vos lots de pièces usinées.
- La fiche de contrôle.

Ranger votre poste de travail.

FICHE DE PRESENTATION



L'ARAIGNEE

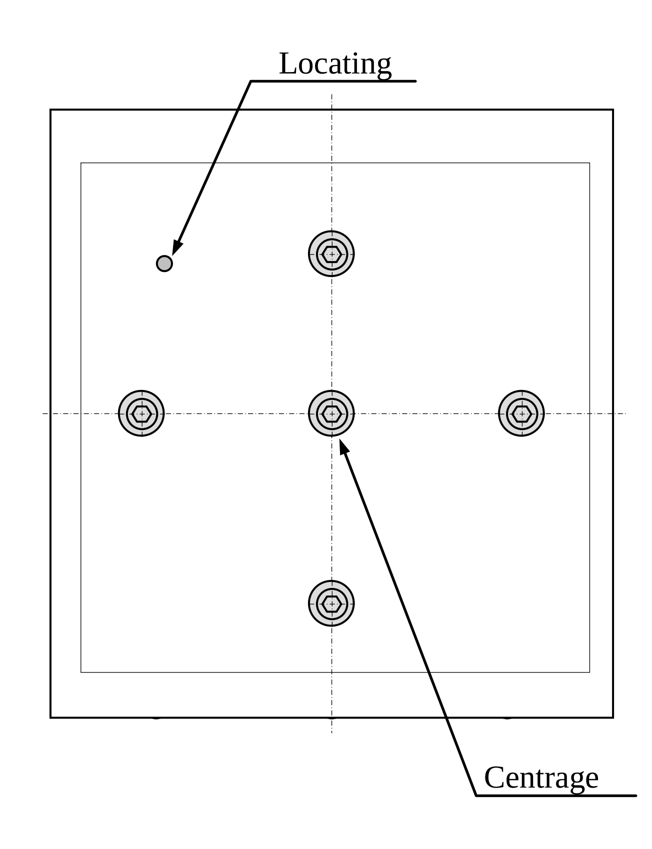
PHASE 50 :

CONTOURNAGE

EXTERIEUR

MACHINE	**Graveuse**
MONTAGE	**Gr-01**
PROGRAMME CN	**Araigext**
OUTIL	**Fraise Φ3**

MONTAGE DE LA PIECE



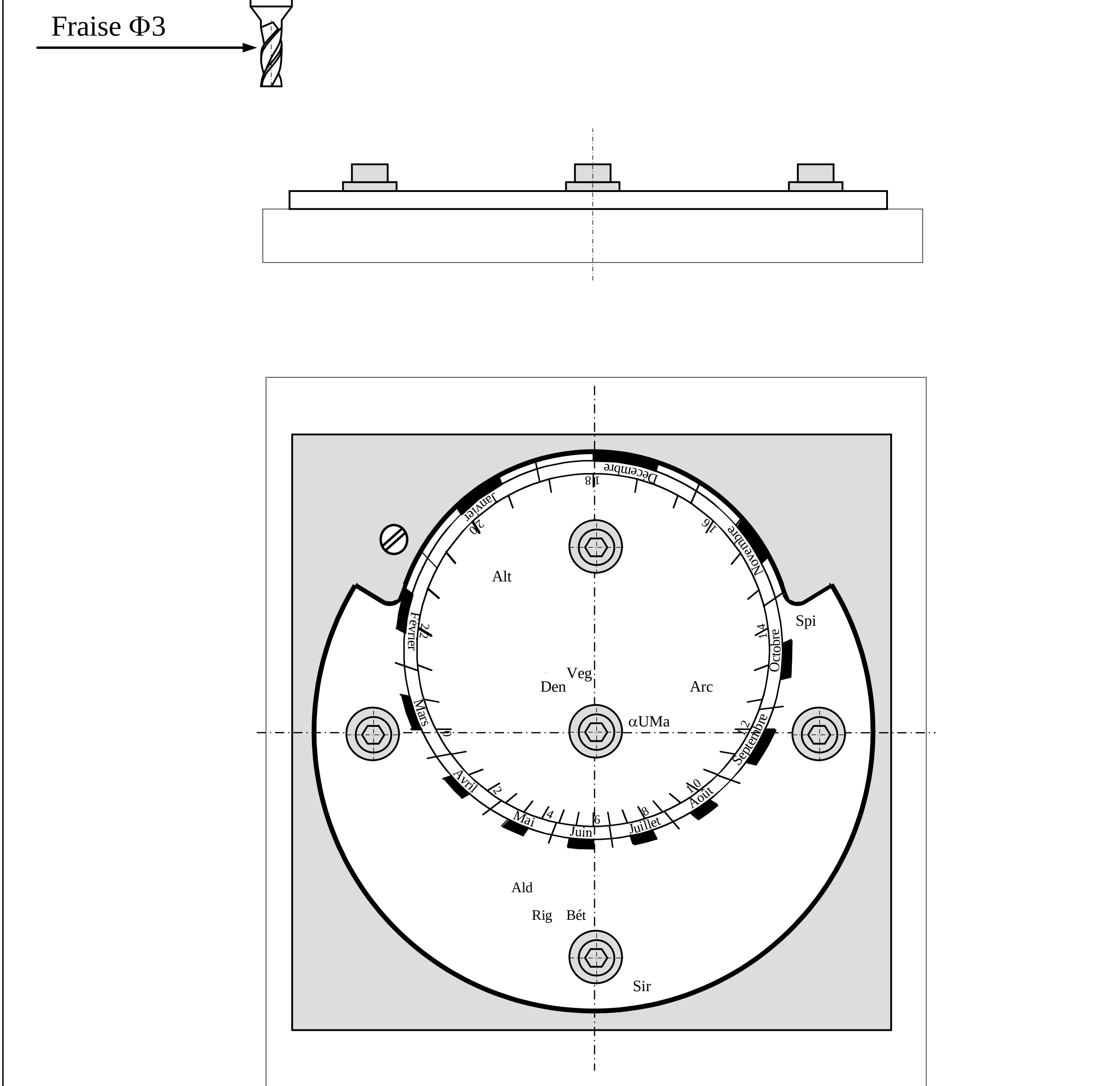
Mise en position

- Appui plan sur face du montage
- Centrage dans Φ8 centrale
- Locating dans Φ4 supérieur

Serrage

- 5 rondelles + 5 vis CHc M5

CONTRAT DE PHASE		ENSEMBLE : ASTROLABE ELEMENT : ARAIGNEE
PHASE 50		**FRAISAGE CN**
N° op	Opération	Commentaires
1	Monter la pièce : un centrage + un locating	
2	Serrer la pièce : 5 vis	
3	Démarrer le cycle	
4	Usinage du profil extérieur	
5	Démonter la pièce	



FICHE DE PREPARATION COMMANDE NUMERIQUE	**ENSEMBLE** : **ASTROLABE**
	ELEMENT : **ARAIGNEE**

Phases :	**50**			
Programmes :	**Araigext**			

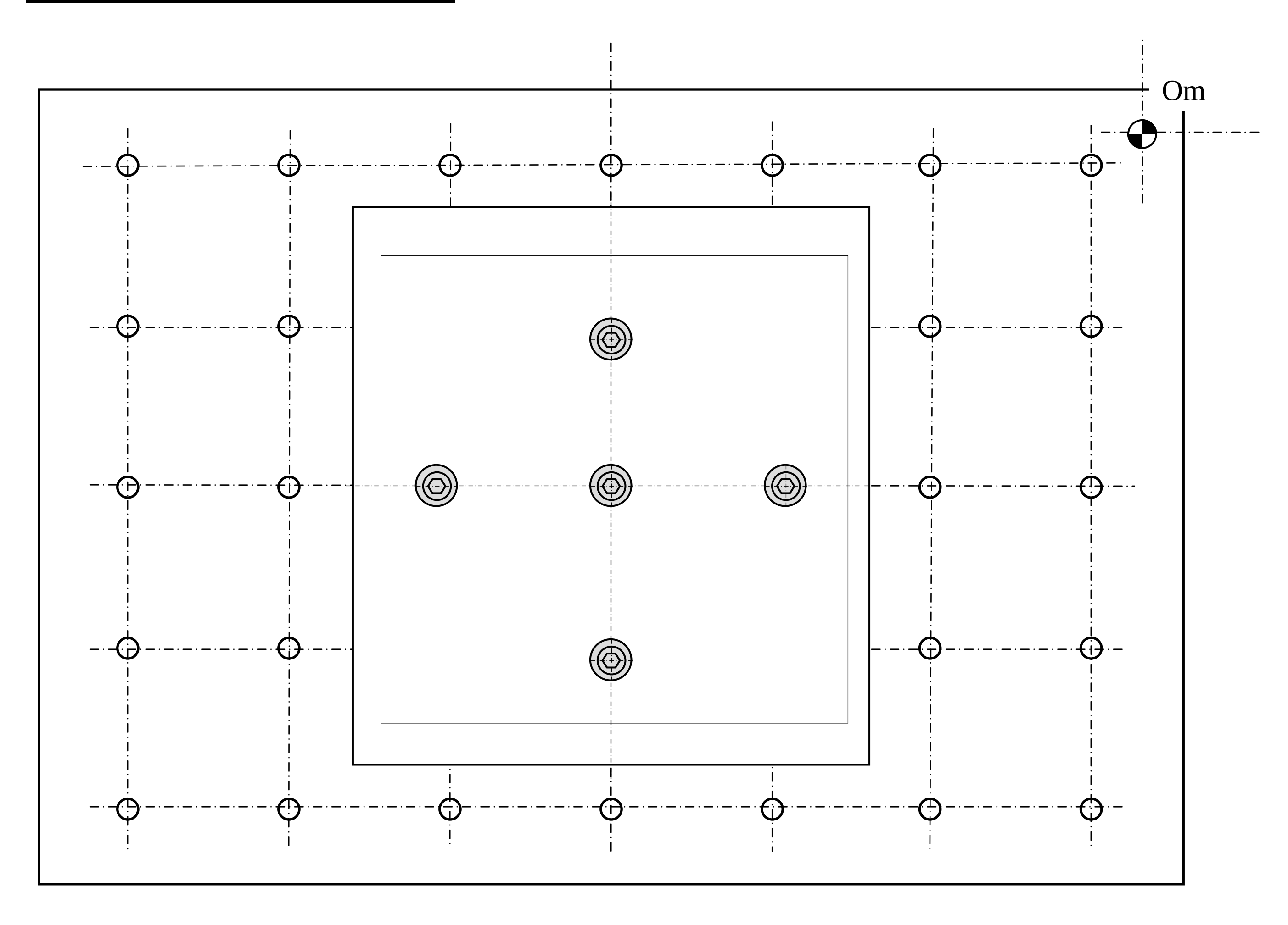
Définition des origines

Pref			**Dec**		
X	**Y**	**Z**	**X**	**Y**	**Z**
-150.40	-102.85	-96.88	0	0	0

Définition de l'outil

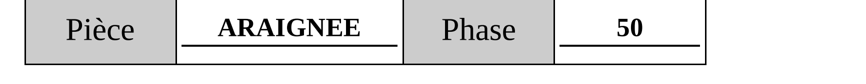
Outil N°	Type	Correcteur	Z Jauges outils R	
T01	Fraise Φ3	D01	0.00	1.45

Définition du montage porte-pièce



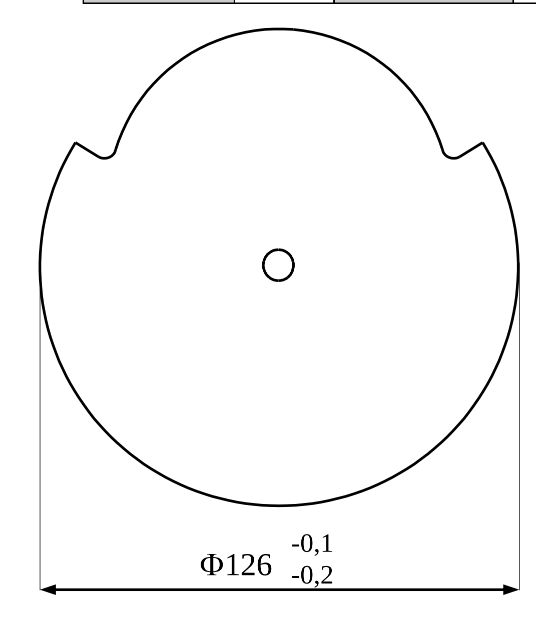
ASTROLABE

FICHE DE CONTROLE



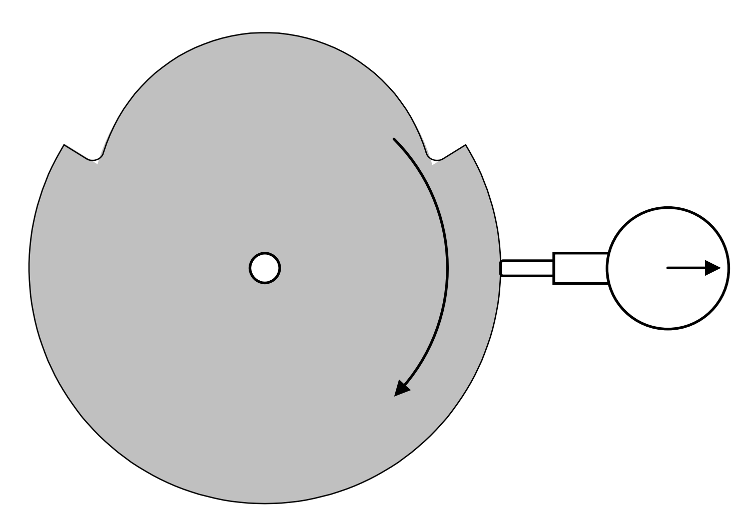
Pièce	ARAIGNEE	Phase	50

Semaine		Opérateurs			Lot	



Cote	Mini	Maxi	Appareil de mesure
Φ126 –0,1 –0,2			

Mesure de la coaxialité

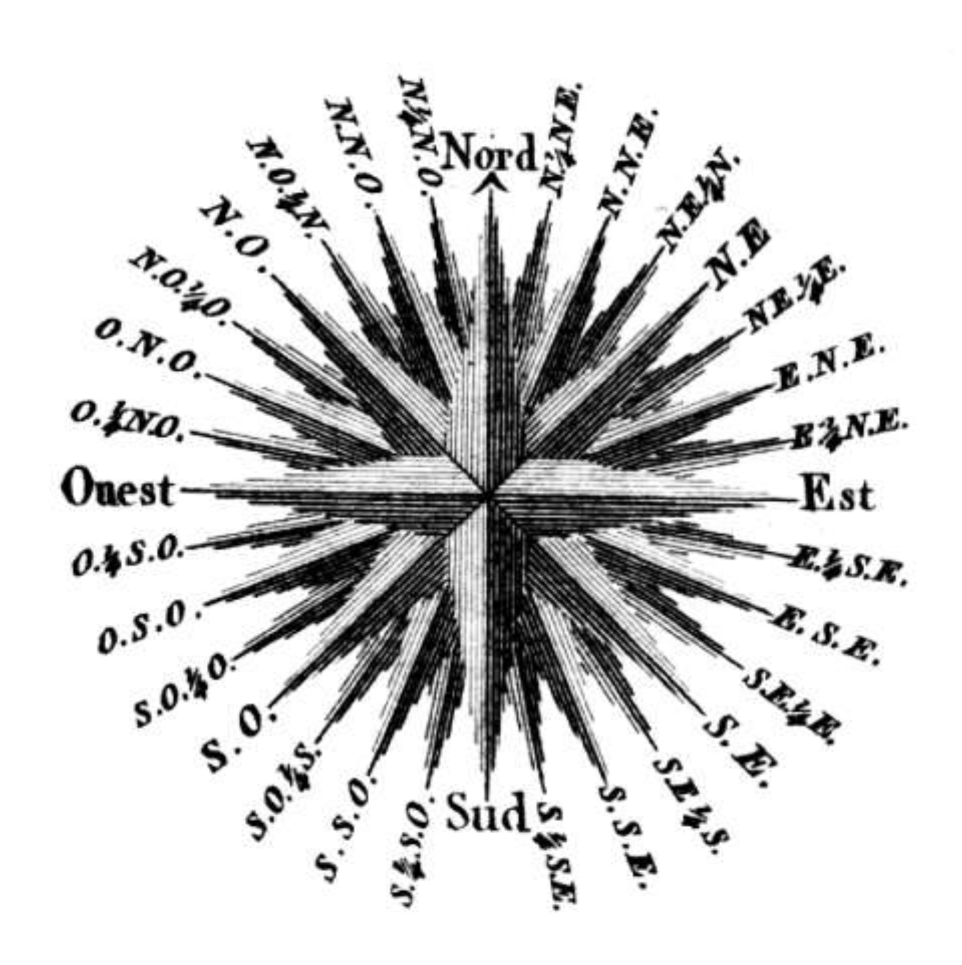


- Monter la pièce (centrage sur le diamètre 8)
- Tourner la pièce (attention à sa forme) et relever la variation de l'aiguille
- **La valeur du défaut de coaxialité correspond à la valeur de la variation de l'aiguille**

Relevé des valeurs de contrôle

Pièce	Φ126 –0,1 –0,2			◎ /A
	Cote mesurée	Conforme	Fausse	Variation
1				
2				

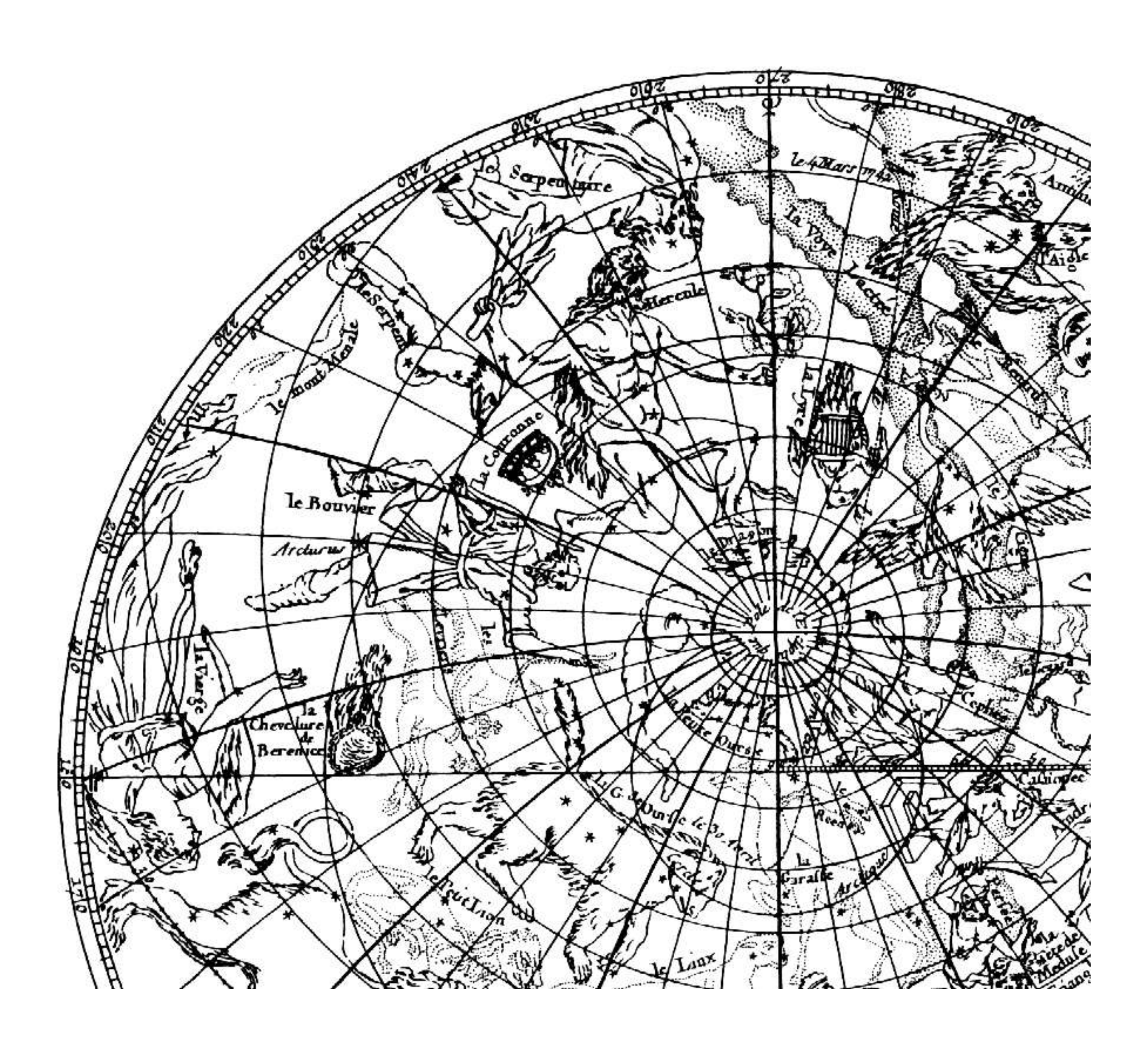
Conclusion : ....

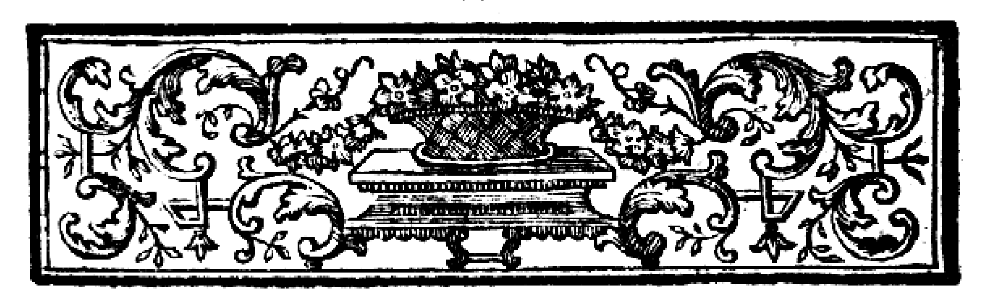

Nord
N.¼N.E.
N.N.E.
N.E.¼N.
N.E
N.E.¼E.
E.N.E.
E.¼N.E.
Est
E.¼S.E.
E.S.E.
S.E.¼E.
S.E.
S.E.¼S.
S.S.E.
S.¼S.E.
Sud
S.¼S.O.
S.S.O.
S.O.¼S.
S.O.
S.O.¼O.
O.S.O.
O.¼S.O.
Ouest
O.¼N.O.
O.N.O.
N.O.¼O.
N.O.
N.O.¼N.
N.N.O.
N.¼N.O.

III – USAGES DE L'ASTROLABE

"Les progrès rapides de l'astronomie dans les trois siècles où parurent Hypparque et Ptolémée, sont dus [aux] instruments. On ne rend pas assez justice à ces inventions précieuses : on n'en estime pas assez les auteurs. Ce sont eux cependant qui font les révolutions dans les sciences, et qui amènent les progrès."

Bailly – Histoire de l'astronomie moderne
édition de 1779.





DE L'USAGE
DE L'ASTROLABE PLANISPHERIQUE



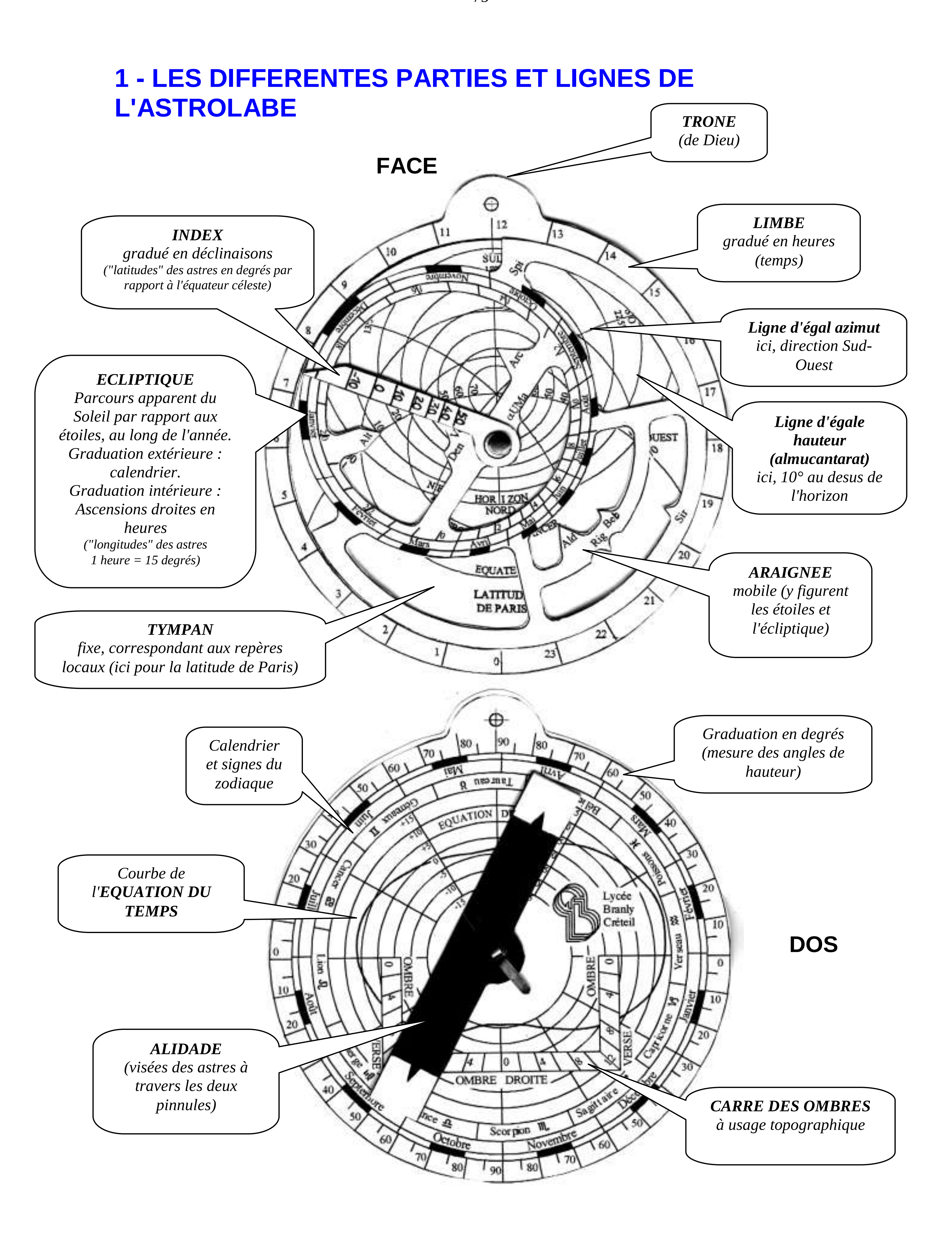
tant en matière Astronomique que Topographique et également pour l'Astrologie

sur l'admirable instrument
construit au lycée Branly de Créteil
en l'an



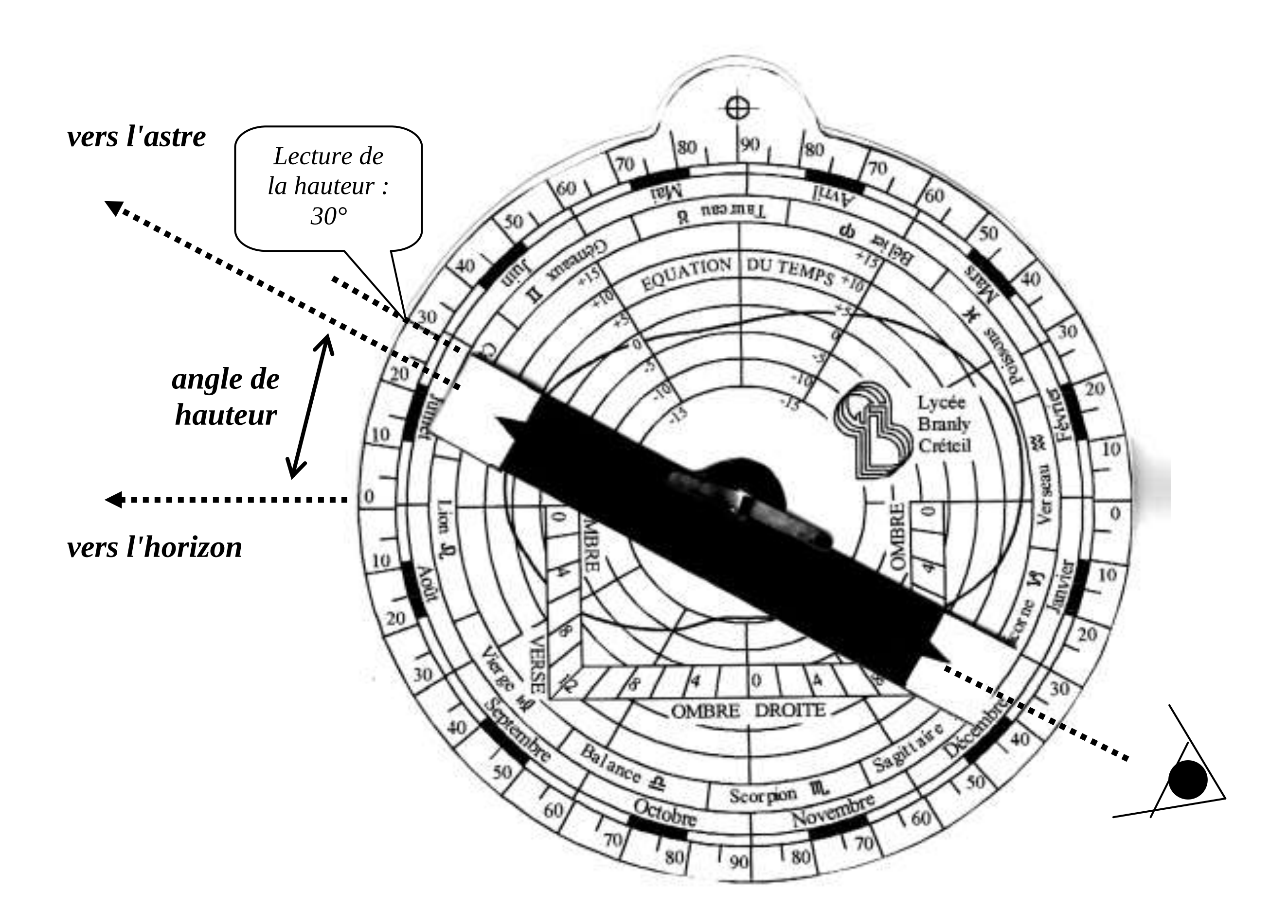
M. M.

1 - LES DIFFERENTES PARTIES ET LIGNES DE L'ASTROLABE



2 - MESURE DE LA HAUTEUR D'UN ASTRE

La hauteur d'un astre est l'angle sous lequel celui-ci est vu par rapport à l'horizon.
En tenant l'astrolabe verticalement devant l'œil, on vise l'astre à travers les deux pinnules (trous ou encoches aux extrémités de l'alidade mobile).
On lit, en degrés, la hauteur de l'astre sur le bord du dos de l'astrolabe : **Attention**, pour lire la graduation, à bien prolonger le bord de l'alidade situé dans l'alignement du centre de l'astrolabe.

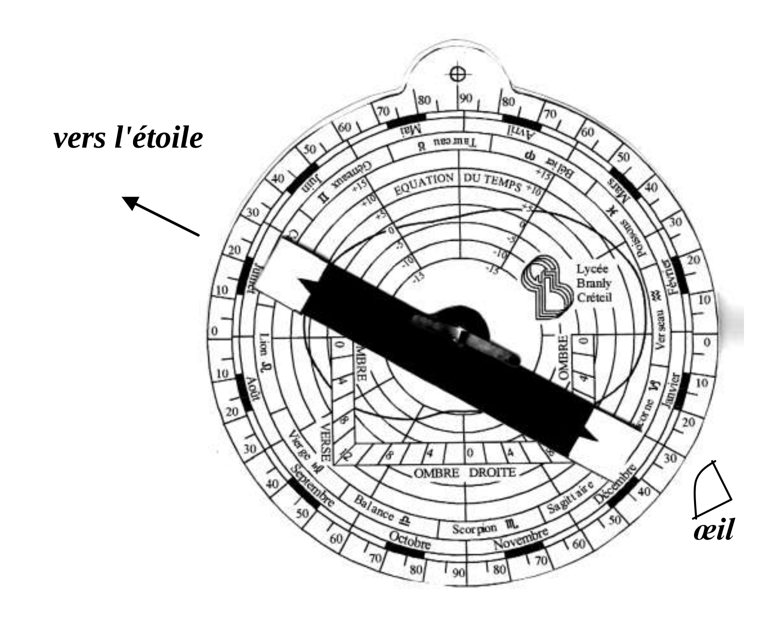


Cas particulier important :
La hauteur de l'étoile polaire correspond, dans l'hémisphère Nord, à la *latitude* du lieu. Il s'agit là d'une utilisation de l'astrolabe de marine pour la navigation.

3 - DETERMINATION DE L'HEURE DE NUIT

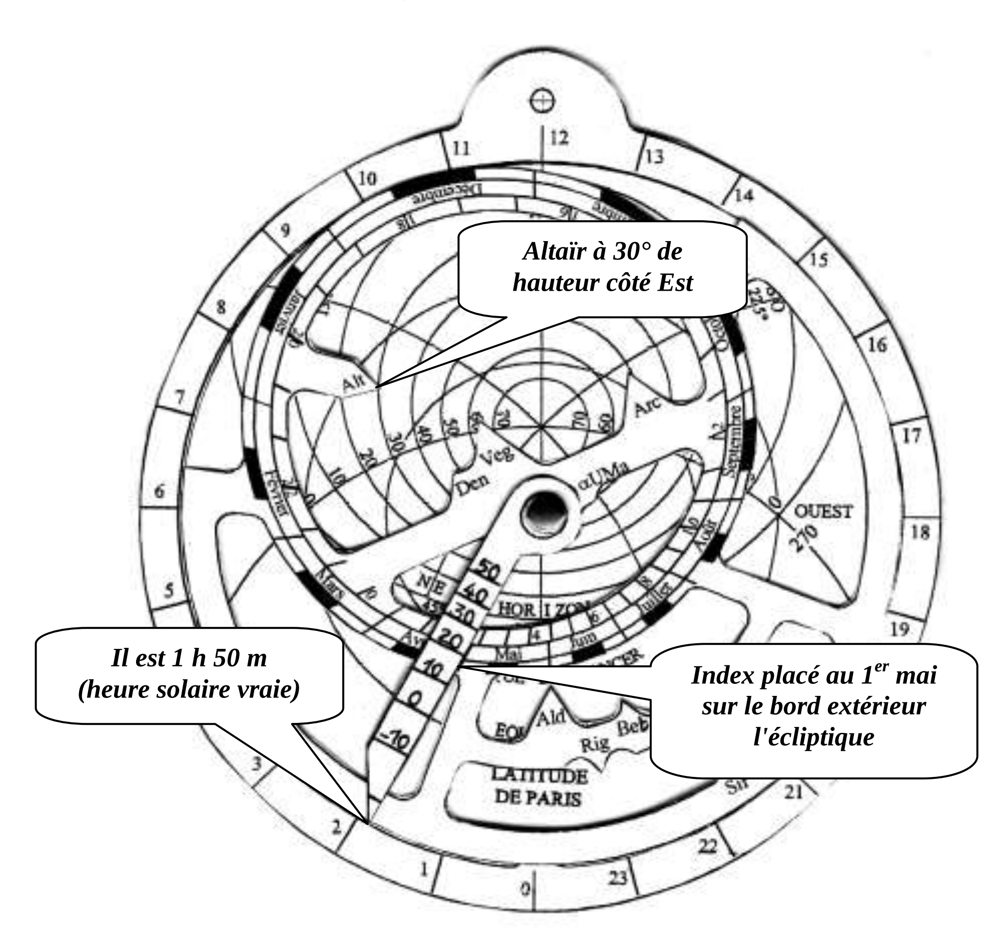
Déterminer l'heure la nuit du 1er mai, à Paris, d'après la position de l'étoile Altaïr dans le ciel.

1. En tenant l'astrolabe verticalement devant les yeux, on vise l'étoile (ici Altaïr vue côté Est du ciel).
2. On lit au dos, dans le prolongement de l'alidade, la hauteur de l'étoile par rapport à l'horizon : ici, 30°.
3. En tenant l'astrolabe horizontalement, on pivote l'araignée de façon à amener la pointe représentant Altaïr sur l'arc de hauteur 30° côté Est.
4. On amène l'index sur la graduation de l'écliptique correspondant au 1er mai.



5. On lit sur le bord (limbe) l'heure solaire vraie : Ici environ 2 h.

Pour retrouver l'heure de la montre, voir § 4.



4 - PASSAGE DE L'HEURE SOLAIRE VRAIE A CELLE DE LA MONTRE - EQUATION DU TEMPS

Déterminer l'heure légale lorsque l'astrolabe donne 2h, le 1er mai à Paris.

L'heure donnée par l'astrolabe est ***l'heure solaire locale vraie (HSV)***. Pour retrouver l'heure de la montre (***heure légale HL)*** plusieurs corrections sont à faire.

1. La première correction à effectuer est pour tenir compte de la ***longitude du lieu d'observation*** : l'heure officielle est donnée pour une observation sur le méridien de *Greenwich*.
Sachant que l'on observe à Paris, situé à 2°20' Est de *Greenwich*, et que la Terre fait 360° en 24h, on doit ***enlever 9,5 m*** pour retrouver le temps correspondant au méridien de *Greenwich*.

2. La deuxième correction consiste à ajouter une quantité variable *E* (nommée ***l'équation du temps***) à ***l'heure solaire vraie***, pour obtenir ***l'heure solaire moyenne*** .

C'est pour tenir compte de deux phénomènes :

- la vitesse irrégulière de la Terre sur sa trajectoire elliptique,
- la position variable du Soleil par rapport à l'équateur selon les saisons.

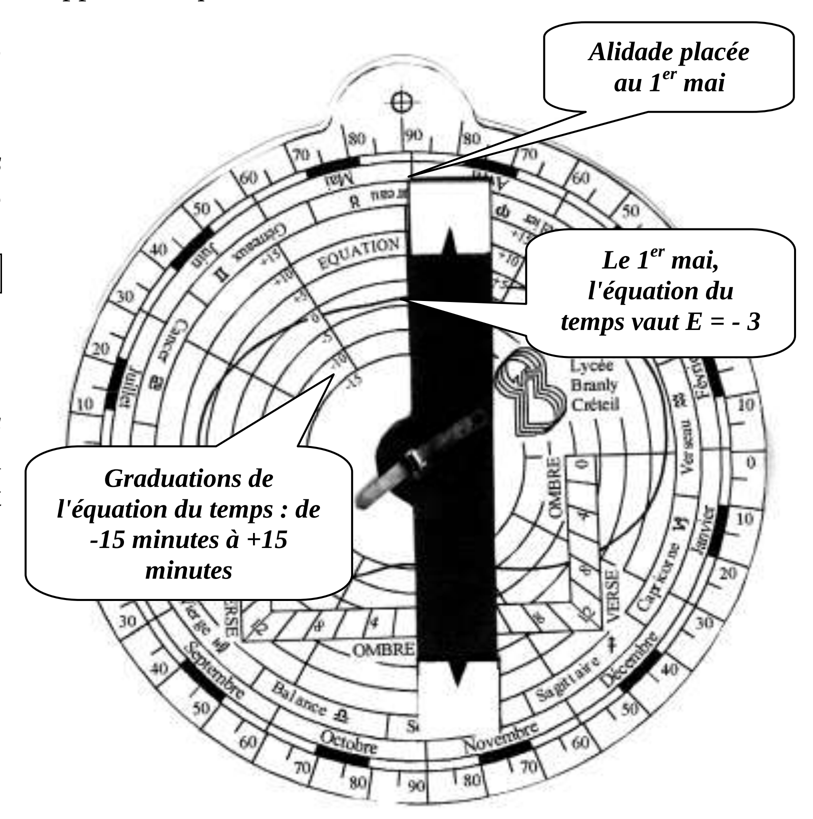
E est donné par la courbe située au dos de l'astrolabe :
Le 1er mai, ***E = -3 m*** .
On obtient l'heure en ***temps universel (UT)***, c'est l'heure de *Greenwich* :

UT = HSV - 9,5 m + E .

UT = 2h - 9,5 m - 3 m
UT = 1h 47,5 m.

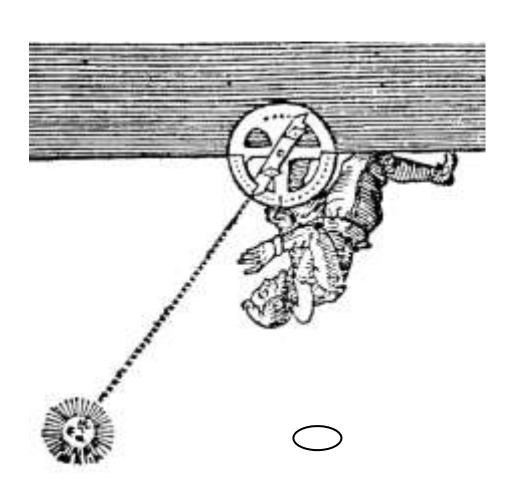
3. Enfin, pour passer du ***temps universel*** à ***l'heure légale*** en France (heure de la montre), il faut ajouter 1 heure en hiver et 2 heures en été.

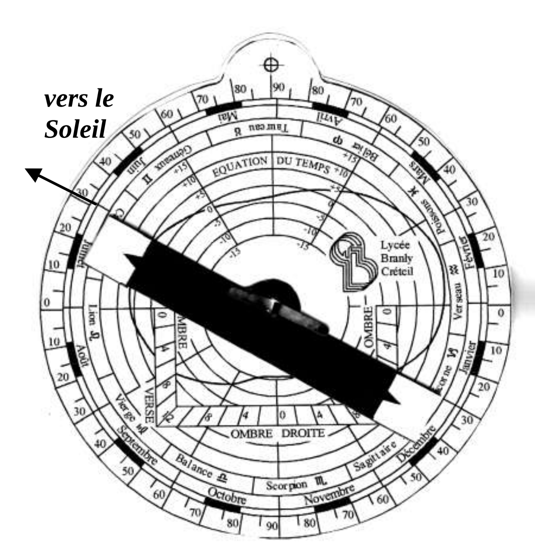
Le 1er mai :
HL = UT + 2h = 3h 47,5 m (heure de la montre).



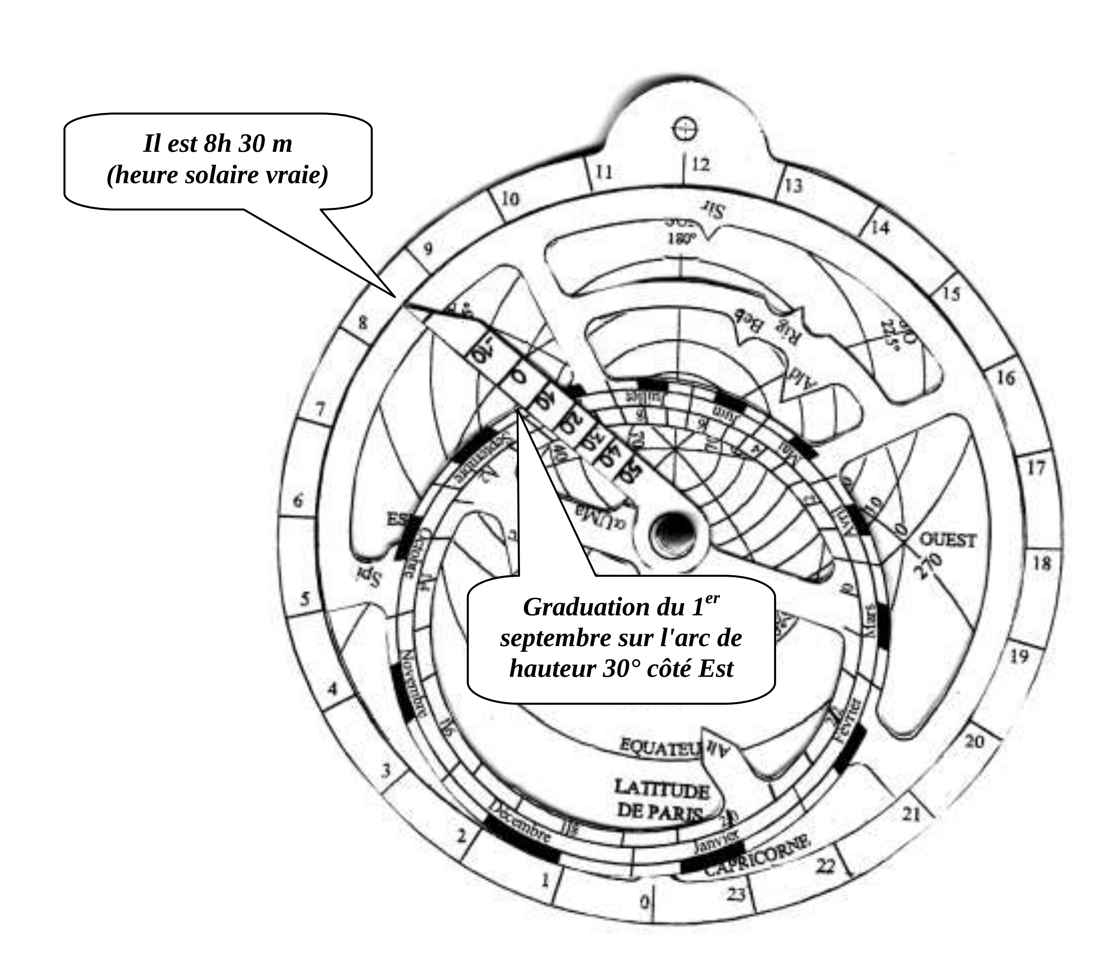
5 - DETERMINATION DE L'HEURE DE JOUR

Déterminer l'heure le matin du 1er septembre à Paris, d'après la position du Soleil.





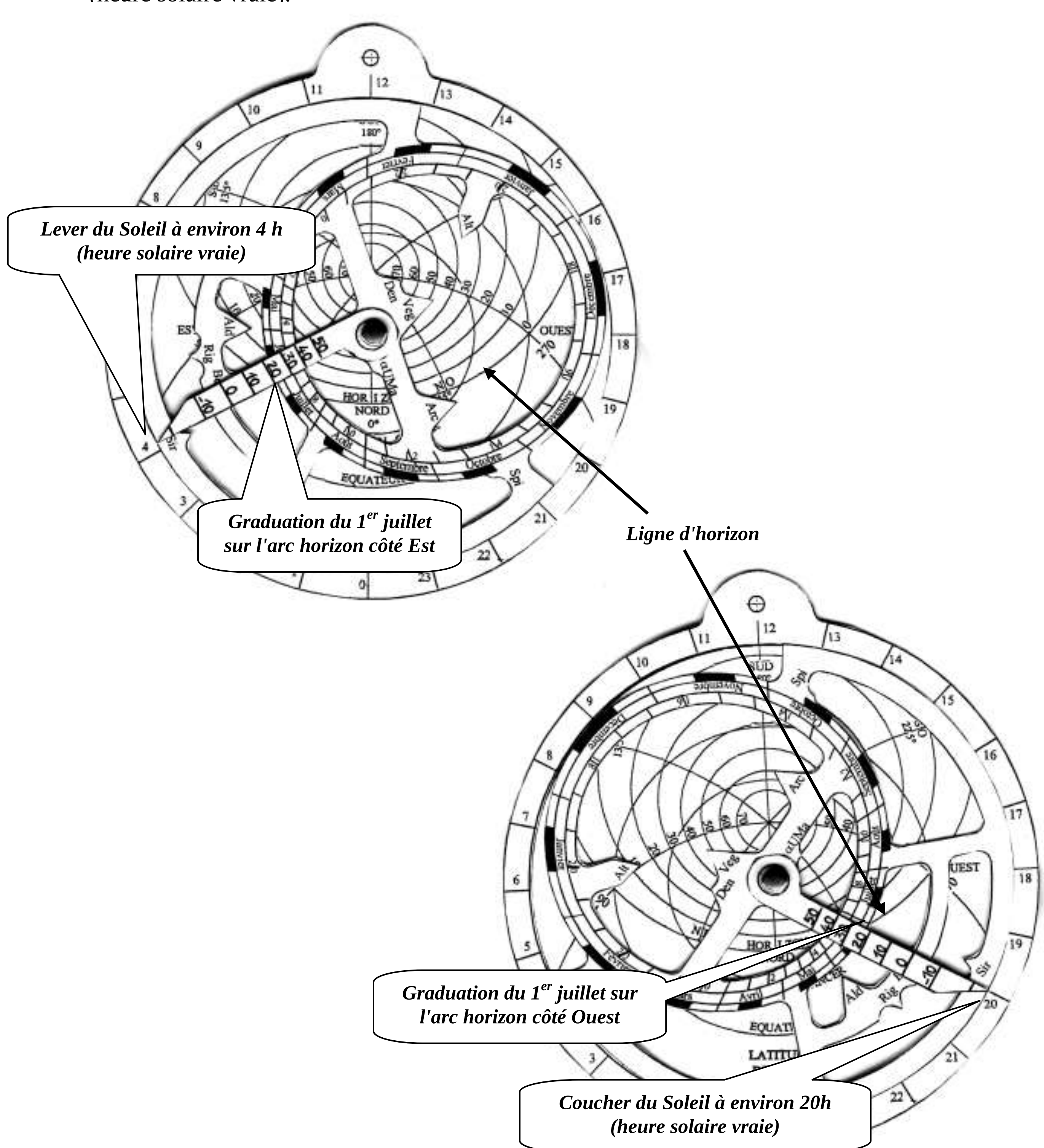
1. En tenant l'astrolabe verticalement, on "vise" le Soleil supposé ici visible côté Est du ciel (matin).
   Attention, on ne vise pas le Soleil avec les yeux. On superpose sur le sol les deux ronds de lumière créés par le Soleil à travers les pinnules de l'alidade. On lit dans le prolongement de l'alidade, la hauteur du Soleil par rapport à l'horizon : ici, 30°.
2. En tenant l'astrolabe horizontalement, on pivote l'araignée de façon à amener la graduation extérieure du 1er septembre de l'écliptique sur l'arc de hauteur 30° côté Est.
3. On amène l'index sur cette même graduation.
4. On lit sur le bord (limbe) l'heure solaire vraie : ici, 8h 30 m.
   Pour retrouver l'heure de la montre, voir § 4.



6 - HEURES DE LEVER ET COUCHER DU SOLEIL

Déterminer les heures de lever et coucher du Soleil à Paris le 1er juillet.

1. On place la graduation du 1er juillet de l'écliptique sur l'horizon Est (hauteur 0°).
2. On amène l'index sur cette graduation et l'on lit sur le limbe l'heure de lever du soleil : ici environ 4h (heure solaire vraie).
3. On procède de même sur l'horizon côté Ouest pour l'heure du coucher : ici environ 20h (heure solaire vraie).

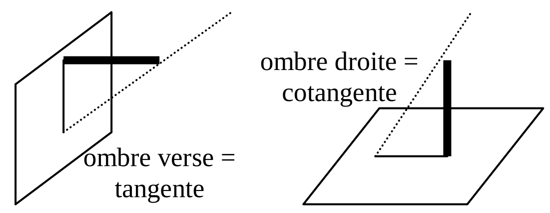


7 - MESURE DE DISTANCES INACCESSIBLES - CARRE DES OMBRES

Mesurer la hauteur d'une tour dont le pied est accessible.

1. On vise le haut de la tour avec l'alidade. On lit sur le carré des ombres, le rapport $\frac{B'C'}{AB'}$, ici égal à $\frac{12}{6} = 2$.

2. Le triangle rectangle AB'C' étant semblable au triangle ABC (côtés proportionnels), il existe le même rapport entre la hauteur BC et la distance au sol AB connue. Dans notre exemple, BC = 2 × AB.
Le quotient donné par la graduation 6 ("*ombre droite*"), soit $\frac{6}{12} = \frac{1}{2}$, correspond à la ***cotangente*** de l'angle en A (angle de visée lu au bord de l'astrolabe, ici environ 63°). La dénomination "*carré des ombres*" fait allusion aux mesures analogues que l'on fait à l'aide de l'ombre d'un bâton (gnomon).



"Ombre droite" sur la graduation 6

Longueur B'C' égale à 12 graduations

C '

A B '

C

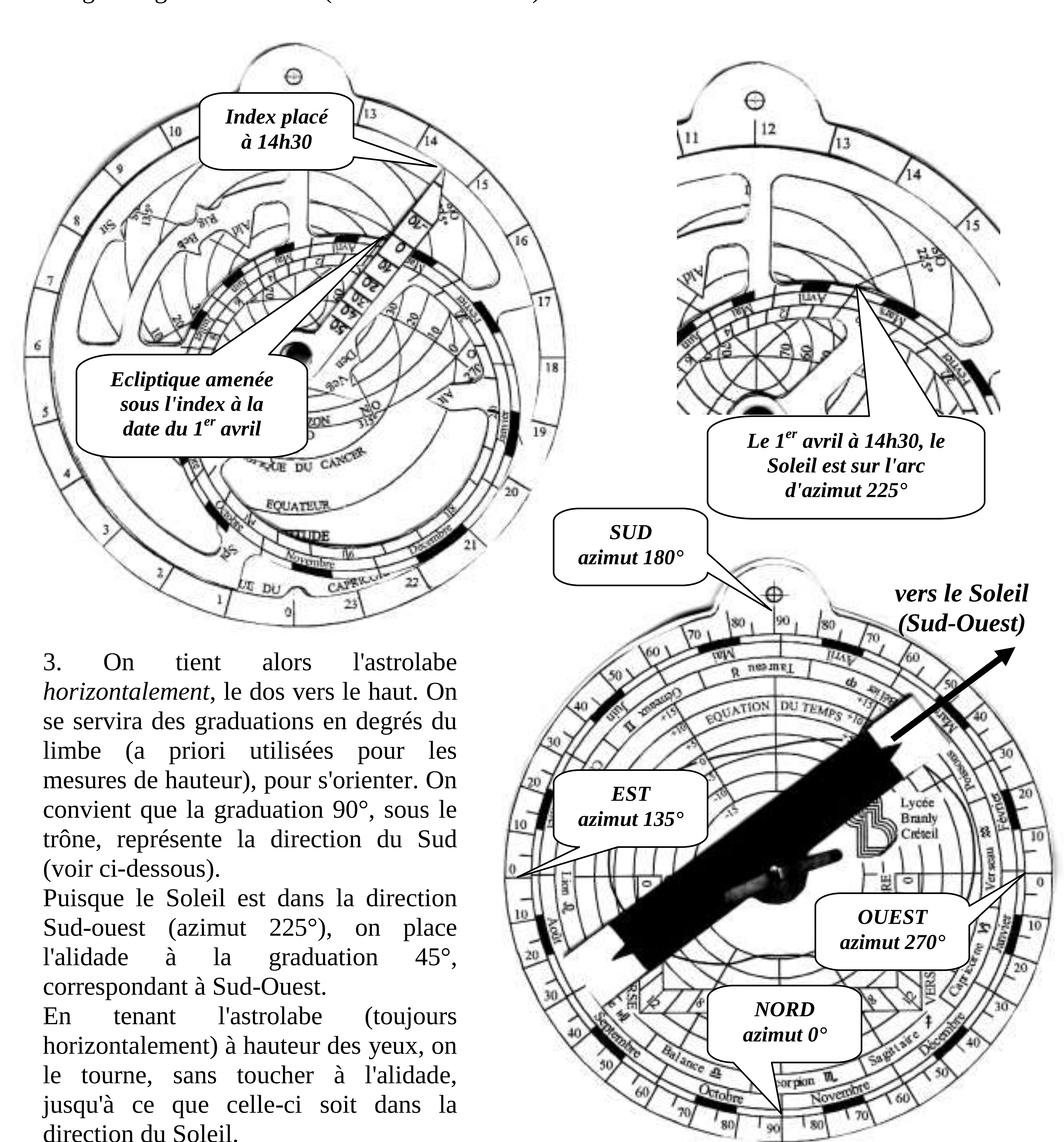
A

B

8 - ORIENTATION SELON LA POSITION DU SOLEIL

S'orienter d'après la position du Soleil le 1er avril à 14h30m (heure solaire vraie) à Paris.

1. Placer l'index à 14h30m, puis tourner l'araignée de façon à amener la graduation du 1er avril de l'écliptique sous l'index.
2. On constate que le Soleil (bord extérieur de l'écliptique à la date du 1er avril) est alors sur la ligne d'égal azimut 225° (direction Sud-ouest).



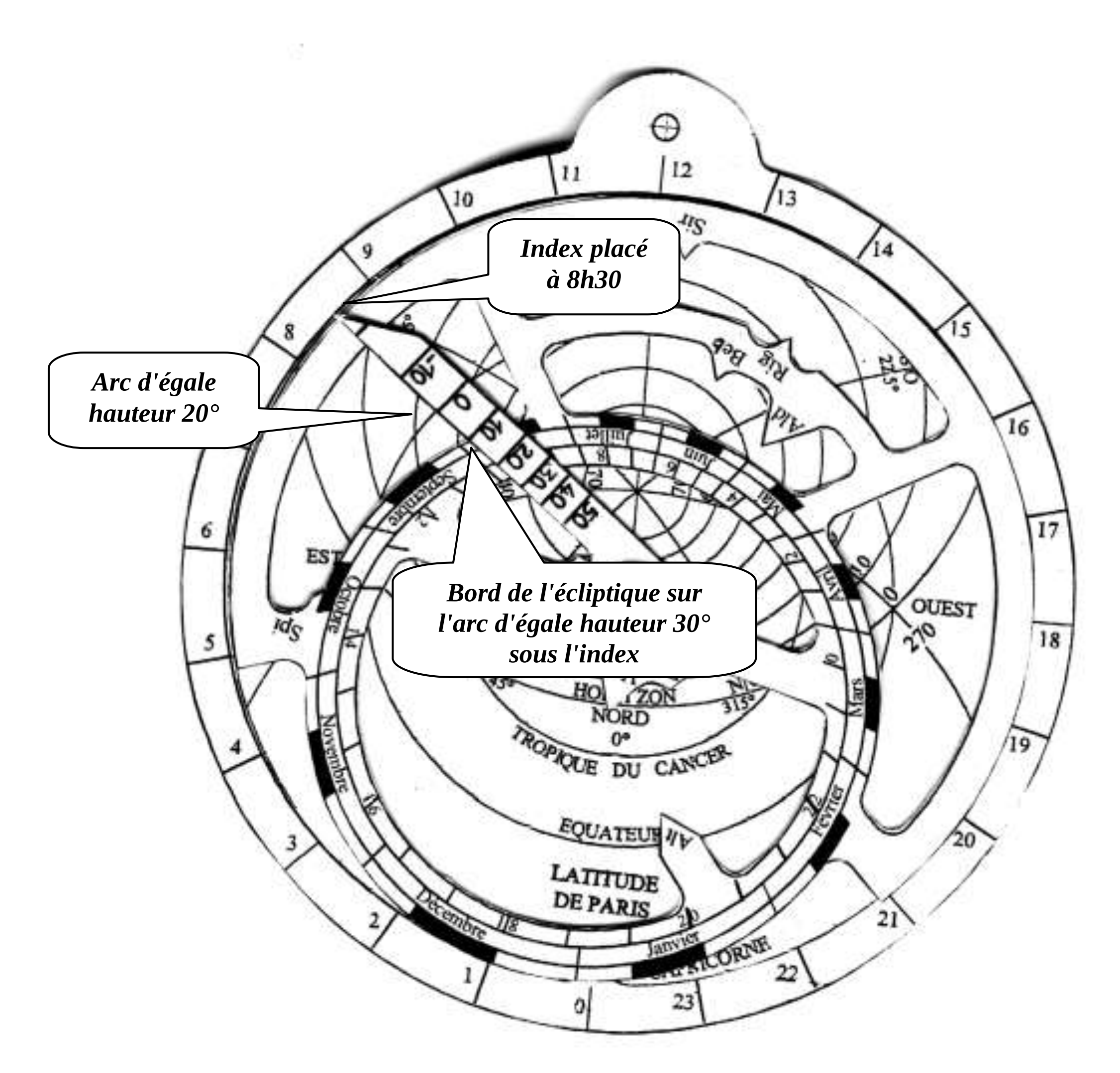
Astrolabe tenu horizontalement

3. On tient alors l'astrolabe *horizontalement*, le dos vers le haut. On se servira des graduations en degrés du limbe (a priori utilisées pour les mesures de hauteur), pour s'orienter. On convient que la graduation 90°, sous le trône, représente la direction du Sud (voir ci-dessous).
Puisque le Soleil est dans la direction Sud-ouest (azimut 225°), on place l'alidade à la graduation 45°, correspondant à Sud-Ouest.
En tenant l'astrolabe (toujours horizontalement) à hauteur des yeux, on le tourne, sans toucher à l'alidade, jusqu'à ce que celle-ci soit dans la direction du Soleil.
L'astrolabe est alors orienté et on peut, en tournant seulement l'alidade, viser des détails du paysage dans les directions cardinales.

9 - DETERMINATION DE LA DATE D'APRES LE SOLEIL

A Paris, à 8h30m (heure solaire vraie), le Soleil est vu à 30° de hauteur. Rechercher la date.

1. On place l'index à 8h30m.
2. On tourne l'araignée jusqu'à ce que le bord extérieur de l'écliptique apparaisse, sous l'index, au niveau de l'arc d'égal hauteur 30°.
3. On lit alors sur l'écliptique, la date de l'observation. Ici, environ le 1er septembre.



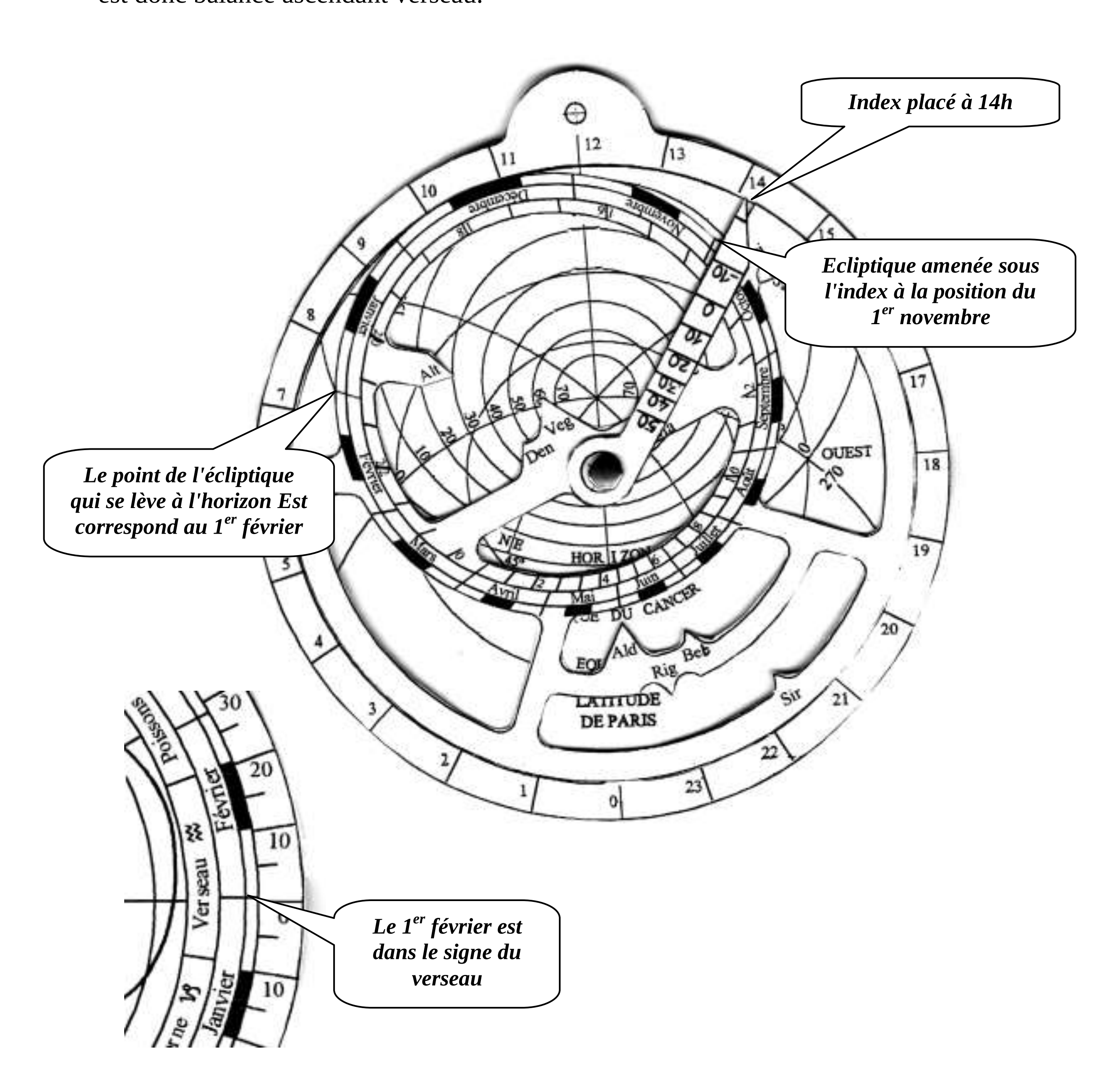
Remarque : la donnée hauteur du Soleil + heure, peut être remplacée par hauteur du Soleil + azimut du Soleil ou azimut du Soleil + heure.

10 - DETERMINATION DE L'ASCENDANT ASTROLOGIQUE

Calculer l'ascendant astrologique d'une personne née à la latitude de Paris le 1er novembre (donc du signe de la balance) à 14h (heure solaire vraie).

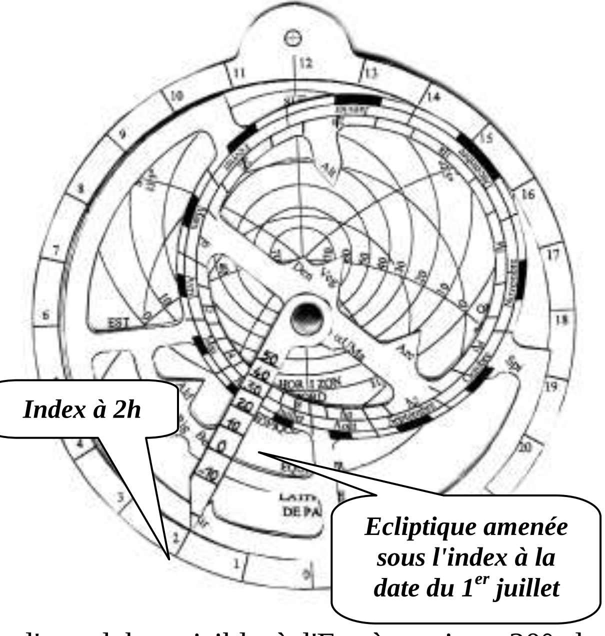
Le mot ***horoscope*** : signifie en grec "qui examine l'heure (de naissance)".
L'ascendant est le point de l'écliptique qui se lève à l'horizon au moment de la naissance.

1. Placer l'index sur la graduation 14h du limbe (bord).
2. Tourner l'araignée de façon à amener la graduation du 1er novembre au niveau de l'index. Le ciel est ainsi en position telle qu'à l'instant de la naissance.
3. Lire le point de l'écliptique qui se lève à cet instant à l'horizon Est : ici la graduation correspondante est le 1er février.
4. Le dos de l'astrolabe indique que le 1er février est dans le signe du verseau. La personne est donc balance ascendant verseau.

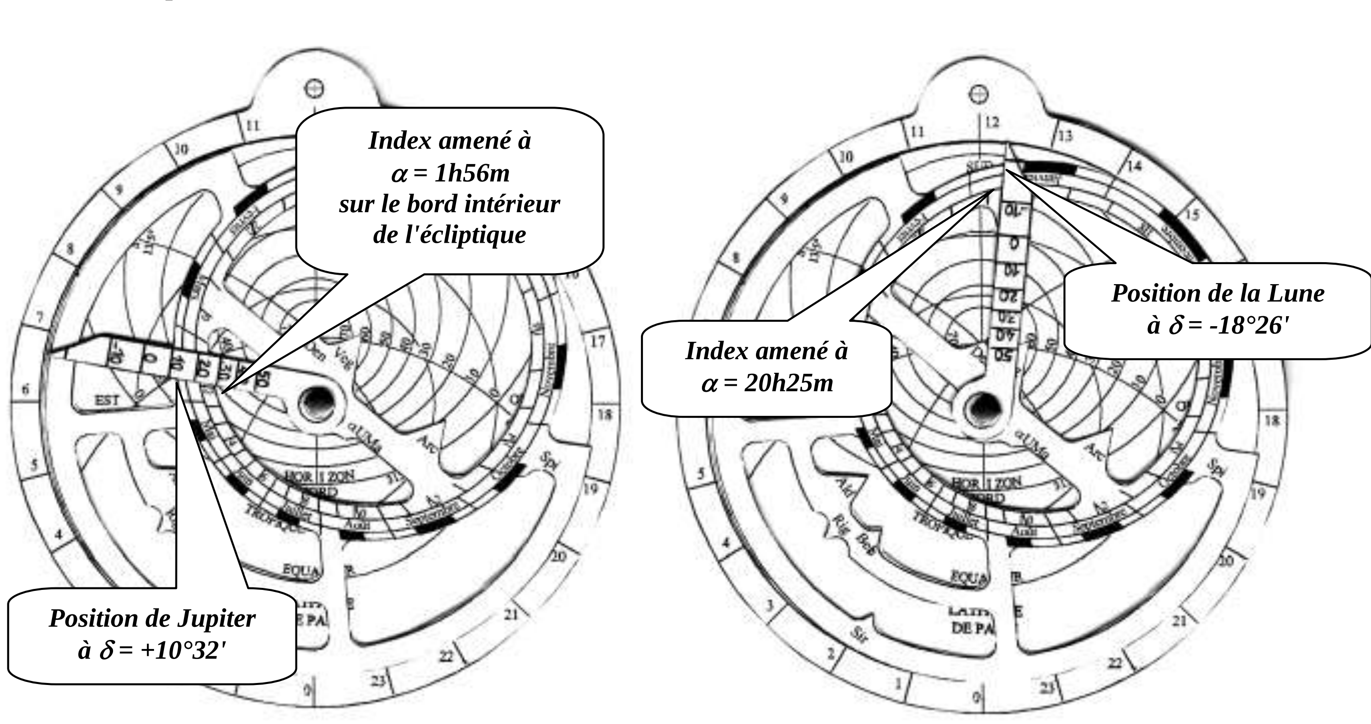


11 - ASPECT DU CIEL A UN MOMENT DONNE - POSITION DES PLANETES

Le ciel le 1er juillet 1999 à 2h (heure solaire vraie), à Paris. Position de Jupiter et de la Lune, d'après les éphémérides.



1. Le ciel le 01/07/99 à 2h :
   L'index est placé à 2h puis l'écliptique amenée sous l'index à la graduation du 1er juillet.
   On constate sur l'astrolabe que Deneb est au zénith et qu'Arcturus se couche à l'horizon, direction Ouest-nord-ouest.
2. Position de Jupiter.
   D'après les éphémérides, ce jour là, les coordonnées de Jupiter sont :
   Ascension droite α = 1h56m
   Déclinaison δ = +10°32'.
   Sans bouger l'araignée, on amène l'index à 1h56m (graduation du bord intérieur de l'écliptique).
   Jupiter se situe alors au niveau de la graduation +10°32' de l'index et, d'après l'astrolabe, visible à l'Est à environ 20° de hauteur.
3. Position de la Lune.
   D'après les éphémérides, ce jour là, les coordonnées de la Lune sont :
   Ascension droite α = 20h25m
   Déclinaison δ = -18°26'.
   Sans bouger l'araignée, on amène l'index à 20h25m (graduation du bord intérieur de l'écliptique). La Lune se situe alors au niveau de la graduation -18°26' de l'index et, d'après l'astrolabe, visible au Sud à environ 25° de hauteur.



12 - QUELQUES AUTRES PROBLEMES RESOLUS A L'ASTROLABE

a. Déterminer, à une date donnée, la hauteur où culmine le Soleil

Soit à déterminer à quelque hauteur culmine le Soleil, à Paris, le 1er septembre.
1. On tourne l'araignée de façon à amener la graduation du 1er septembre sur l'écliptique, dans la direction du Sud (12 heures).
2. Le bord extérieur de l'écliptique au 1er septembre est alors sur l'arc d'égale hauteur 50°. Le Soleil culmine donc ce jour là, à la latitude de Paris, à 50°.

b. Déterminer, à une date donnée, l'instant où le Soleil a un azimut fixé

Soit à déterminer à quelle heure, le 1er mars, à Paris, le Soleil est dans la direction Sud-Est (azimut 135°).
1. On tourne l'araignée de façon à amener la graduation du 1er mars de l'écliptique sur l'arc d'égal azimut 135°.
2. On lit, grâce à l'index, qu'il est alors environ 9h15 (heure solaire vraie).

c. Déterminer la date où le Soleil se lève à un azimut fixé

Soit à déterminer (ou retrouver) à quelle date le Soleil se lève à l'Est.
1. On tourne l'araignée de façon à amener le bord extérieur de l'écliptique sur l'horizon Est (azimut 90°).
2. On retrouve les jours des deux équinoxes.



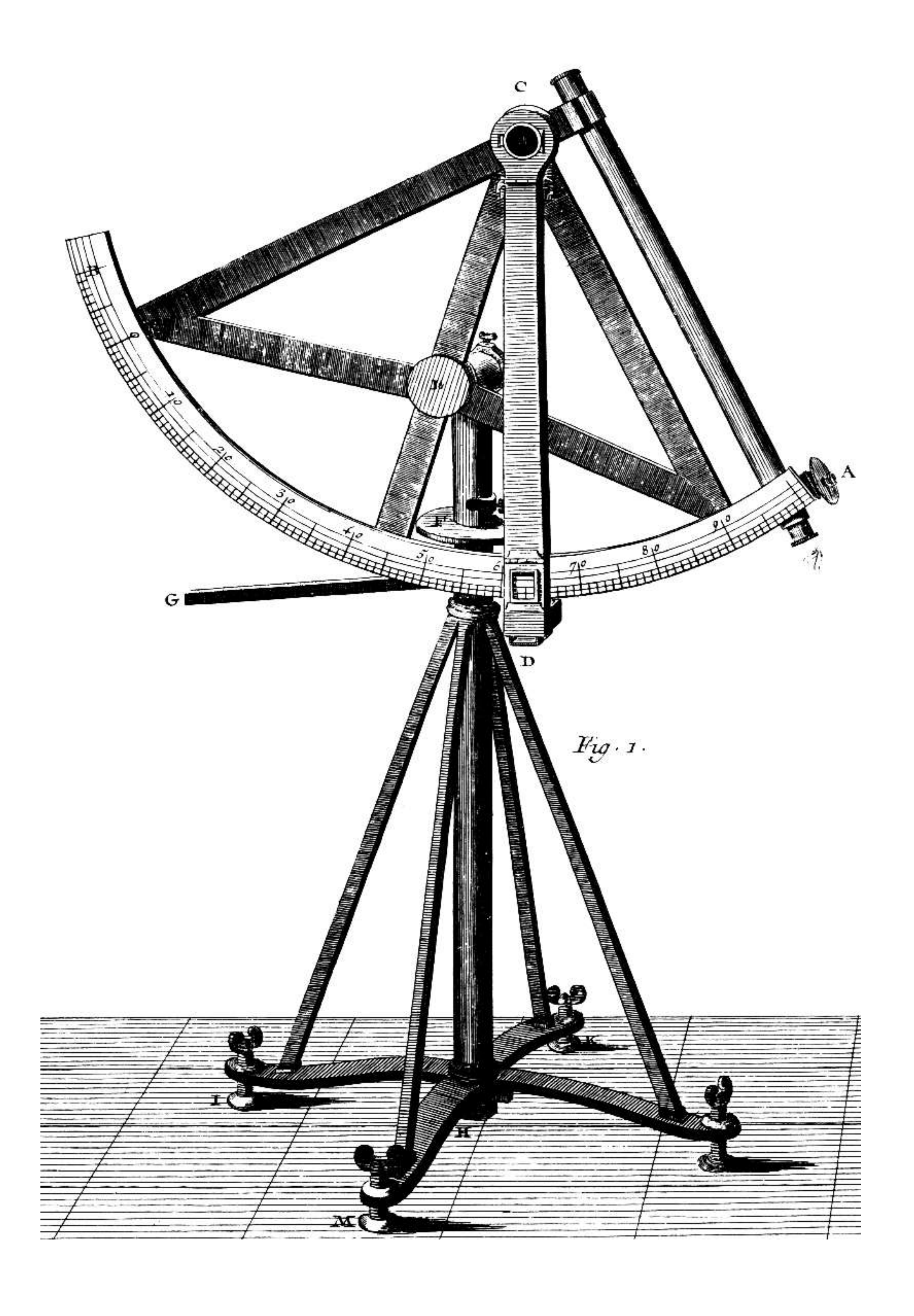


Fig. 1.



MESURE A L'ASTROLABE DE DISTANCES INACCESSIBLES

Les textes suivants sont extraits de "***L'Epître sur l'utilisation de l'astrolabe***" de l'astronome persan ᶜAbd ar – Raḥmān ***AṢ – ṢŪFĪ*** (903-986). Son auteur y décrit, en 386 chapitres, plus de mille utilisations de l'astrolabe ! Vous allez étudier certains exemples concernant des mesures topographiques.

AṢ – ṢŪFĪ est également connu pour son "*Livre sur les constellations des étoiles fixes*", reprenant, en le complétant, le catalogue d'étoiles de Ptolémée. C'est par la traduction de cet ouvrage en latin, à partir du XII[e] siècle, que de nombreuses étoiles de notre ciel portent un nom d'origine arabe.

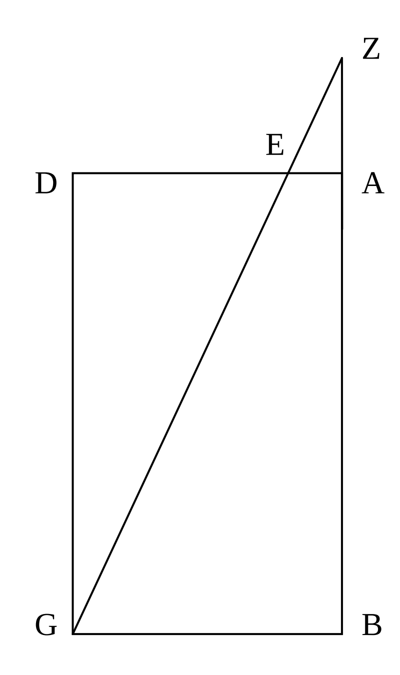
Traduction de Ahmed DJEBBAR - Université Paris-Sud.

I - *"Sur la connaissance de la mesure d'un puits et d'une chose profonde"*

"Si tu veux connaître la mesure de la profondeur d'un puits ou d'une chose profonde, plante un bâton sur le rebord du puits ou de la chose profonde. Et sors, de dessous ton pied un bâton sur la margelle du puits, le long de son diamètre. Et mets-toi debout sur le rebord du puits. Et, de l'endroit opposé au bâton, sur la margelle du puits, tu jettes une pierre dans le puits et tu observes l'endroit où tombe la pierre, et tu le repères. Tu reviens au bâton planté, tu pose ton œil au sommet du bâton planté et tu sors, petit à petit, le bâton qui est sous ton pied jusqu'à ce que, lorsque tu regardes à travers les deux trous de l'alidade, tu vois, en même temps que le sommet du bâton planté, l'extrémité du bâton couché et le point de chute de la pierre que tu avais repérée. Si tu as fait cela, multiplie les doigts de la longueur du bâton planté par les doigts du diamètre du sommet du puits et divise le résultat par les doigts de la partie qui est tirée du bâton couché sous ton pied. Ce qui en résulte, retranches-en la mesure de la longueur de bâton planté. Ce qui reste, c'est la mesure de la profondeur de ce puits jusqu'à la surface de l'eau."

Ce n'est pas clair ? AṢ – ṢŪFĪ va expliciter le procédé à l'aide de la figure.





"Exemple de cela : le puits est la surface ABGD, et la profondeur du puits AB. Et le bâton planté sur le sommet du puits, la ligne AZ. L'observateur est debout au point A et il a posé son œil sur le sommet du bâton, et c'est le point Z. Et le bâton couché, qui est tiré sous le pied de l'observateur, c'est la ligne AE. Le diamètre du puits est AD. Et la projection du point D, qui est le bord opposé à l'observateur, c'est le point G."

1) A l'aide des données de la figure, traduire par une formule l'expression devant fournir la profondeur du puits : "*multiplie les doigts de la longueur du bâton planté par les doigts du diamètre du sommet du puits et divise le résultat par les doigts de la partie qui est tirée du bâton couché sous ton pied. Ce qui en résulte, retranches-en la mesure de la longueur de bâton planté."* La suite du texte justifie cette formule.

2) *"Si l'observateur se tient debout au point A et qu'il place son œil au point Z qui est le sommet du bâton, et qu'il regarde par les deux trous de l'alidade, jusqu'à ce qu'il voit le point E du bâton couché en même temps que le point G du fond du puits, alors le rayon lumineux qui sort de l'œil de l'observateur -et c'est le point Z-, passe par l'extrémité du bâton couché -et c'est le point E-, et il aboutit à l'endroit du fond du puits opposé à l'observateur -et c'est la projection du rebord qui est en face de l'observateur-, et qui est le point G. Il est clair alors que seront engendrés deux triangles semblables, et ce sont ZAE, ZBG, et ils sont à côtés proportionnels : le rapport de ZA à AE est comme le rapport de ZB à BG."*

Justifier l'égalité : $\frac{ZA}{AE} = \frac{ZB}{BG}$.

3) *"Mais BG est comme AD parce que la projection de A c'est le point B et la projection de D c'est le point G. Si nous multiplions la ligne ZA, qui est la longueur du bâton planté, par la ligne AD, qui est le diamètre du puits, et qui est comme BG, et que nous divisons ce qui résulte de cela par AE, qui est le bâton couché, il nous vient la ligne ZB, qui est la profondeur du puits avec la longueur du bâton planté.*
Si on retranche de la ligne ZB la ligne ZA, qui est le bâton planté, il reste la ligne AB, et c'est la profondeur du puits, si Dieu veut."

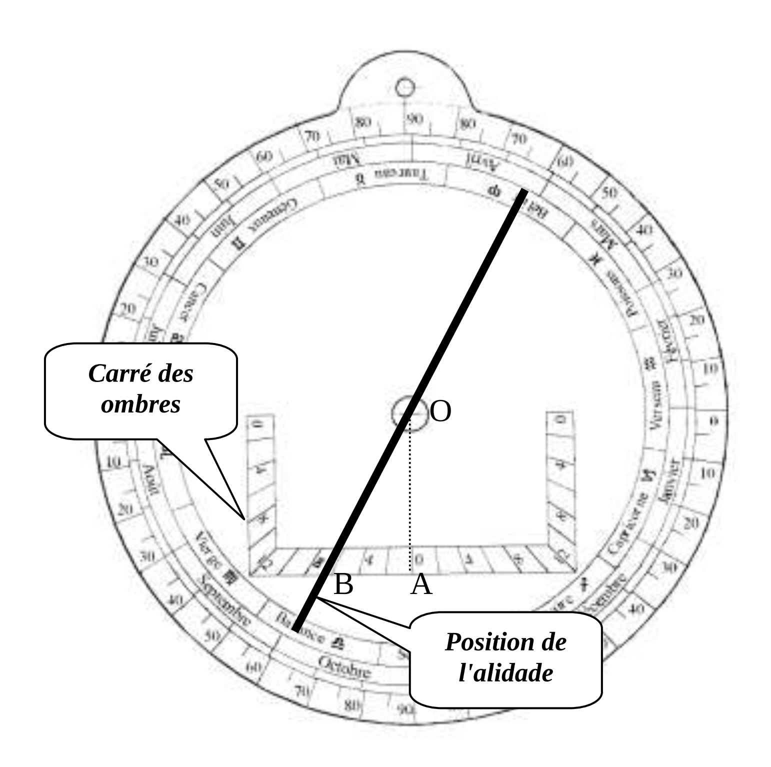
Justifier la formule donnant la profondeur AB du puits.

II- ***"Sur la connaissance de la longueur d'une <chose> verticale lorsqu'il est possible d'atteindre son pied"***

"Si tu veux cela, pose l'extrémité de l'alidade sur quarante cinq parties parmi les parties de la hauteur puis avance et recule jusqu'à ce que tu vois le sommet de cette chose à travers les deux trous de l'alidade et marque la position de ton pied sur le sol puis regarde combien y a-t-il de doigts ou de coudées, de la marque à l'origine de cette chose, c'est à dire à son pied. Ce qu'il y a, tu lui ajoutes les doigts de la longueur de la taille. Ce qui en résulte est la longueur de cette chose, si Dieu veut.

1) Faire un dessin.
2) Justifier la procédure.

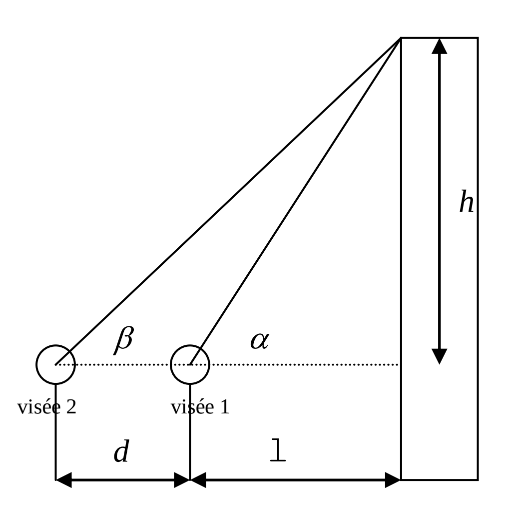
III- ***"Sur la connaissance - lorsque le carré des ombres est mentionné sur l'astrolabe - de la hauteur d'une montagne ou d'une colline dont il n'est pas possible d'atteindre le pied ou d'un mur dont tu n'as pas la possibilité de t'éloigner de la valeur de sa hauteur, à cause de l'étroitesse du lieu"***



Sur l'astrolabe ci-contre, chaque côté du carré des ombres est gradué de 0 à 12. En tenant l'astrolabe verticalement devant les yeux, on vise à l'aide de l'alidade.
Le rôle du carré des ombres est alors de donner la tangente de l'angle de visée
1) Pour la visée ci-contre, l'alidade est sur la graduation horizontale 6. Les graduations horizontales sont nommées "ombres droites", car on peut considérer que AB est l'ombre d'un bâton droit OA, donnée par le Soleil situé dans l'axe de l'alidade.
Calculer dans ce cas $\tan O\hat{B}A$.

"Et c'est <ainsi> : tu prends la hauteur du sommet de cette chose comme tu prends la hauteur des astres fixes, après que l'autre extrémité de l'alidade ait été <mise> sur l'une des lignes qui divisent la tangente. Si elle ne correspond pas à l'endroit où tu es debout, avance et recule jusqu'à ce que cela corresponde à la prise de la hauteur. L'autre extrémité de l'alidade sera alors sur l'une des lignes. Repère l'endroit de ton pied sur le sol puis fait bouger l'extrémité de l'alidade, qui est sur les divisions de la tangente, d'un seul doigt, si la tangente sur l'astrolabe est <subdivisée> en doigts ou d'un seul pied, si elle l'est en pieds, et ce en ajoutant ou en retranchant. L'autre extrémité de l'alidade qui est sur la <hauteur> de la chose bougera de cet endroit. Avance et recule, à partir de ce repère, sur une même ligne, jusqu'à ce que tu vois de nouveau le sommet de cette chose à travers les deux trous de l'alidade et repère à nouveau l'endroit de ton pied."

Le dessin suivant schématise la situation.



Supposons qu'à la visée 1, l'alidade soit sur la graduation 6 des ombres droites et qu'à la visée 2, elle soit sur la graduation 7.

2) Exprimer tan α et tan β en fonction de h, l et d.
3) Montrer que $h = 12\times d$.
C'est le résultat donné par AṢ–ṢŪFĪ :

Puis regarde combien il y a de doigts ou de coudes entre les deux repères. Tu le multiplies par douze, s'il y a des doigts sur l'astrolabe ou par le nombre de pieds selon la manière dont a été <subdivisée> la tangente sur l'astrolabe. Le résultat sera la valeur de la hauteur de cette chose à partir de l'endroit où tu es debout, et ce à condition que la ligne qui sort de dessous ton pied, vers le pied de cette chose, rencontre la ligne qui sort du sommet de cette chose selon un angle droit, si Dieu veut.

Corrigé de l'activité "MESURE DE DISTANCES INACCESSIBLES"

I - *"Sur la connaissance de la mesure d'un puits et d'une chose profonde"*

1) La formule donnant la profondeur du puits est d'après le texte :

$$\mathrm{AB} = \frac{\mathrm{AZ} \times \mathrm{AD}}{\mathrm{AE}} - \mathrm{AZ}.$$

2) Puisque (AE) est parallèle à (BG), le théorème de Thalès donne :

$$\frac{\mathrm{ZA}}{\mathrm{ZB}} = \frac{\mathrm{AE}}{\mathrm{BG}}.$$

On en déduit que ZA×BG = AE×ZB puis que $\frac{\mathrm{ZA}}{\mathrm{AE}} = \frac{\mathrm{ZB}}{\mathrm{BG}}$.

3) En suivant le texte, il vient que, puisque BG = AD, $\frac{\mathrm{ZA}}{\mathrm{AE}} = \frac{\mathrm{ZB}}{\mathrm{AD}}$.

D'où $\frac{\mathrm{ZA} \times \mathrm{AD}}{\mathrm{AE}} = \mathrm{ZB}$

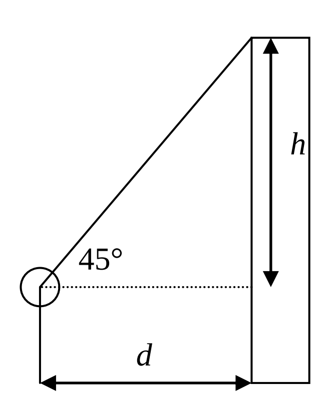
et enfin AB = ZB - AZ

$$= \frac{\mathrm{AZ} \times \mathrm{AD}}{\mathrm{AE}} - \mathrm{AZ}$$

qui était la formule annoncée.

II- *"Sur la connaissance de la longueur d'une <chose> verticale lorsqu'il est possible d'atteindre son pied"*

1) La situation décrite correspond au schéma suivant :



2) Etant en présence d'un triangle rectangle isocèle, il est clair que
$h = d$.
Il reste à ajouter à d la hauteur de l'observateur pour avoir celle de la "chose verticale".

III- *"Sur la connaissance - lorsque le carré des ombres est mentionné sur l'astrolabe - de la hauteur d'une montagne ou d'une colline dont il n'est pas possible d'atteindre le pied ou d'un mur dont tu n'as pas la possibilité de t'éloigner de la valeur de sa hauteur, à cause de l'étroitesse du lieu"*

1) On a tan $\mathrm{O\hat{B}A} = \frac{12}{6}$.

2) On a, dans les triangles rectangles,

$\tan\alpha = \frac{h}{\ell}$ et $\tan\beta = \frac{h}{d+\ell}$.

3) On a supposé que la lecture du carré des ombres a donné :

$\tan\alpha = \frac{12}{6} = 2$ et $\tan\beta = \frac{12}{7}$, d'où

$\frac{h}{\ell} = 2$ et $\frac{h}{d+\ell} = \frac{12}{7}$.

On a donc $\frac{h}{d + \frac{h}{2}} = \frac{12}{7}$ d'où

$7h = 12d + 6h$ et enfin $h = 12d$ comme l'annonce AṢ–ṢŪFĪ.

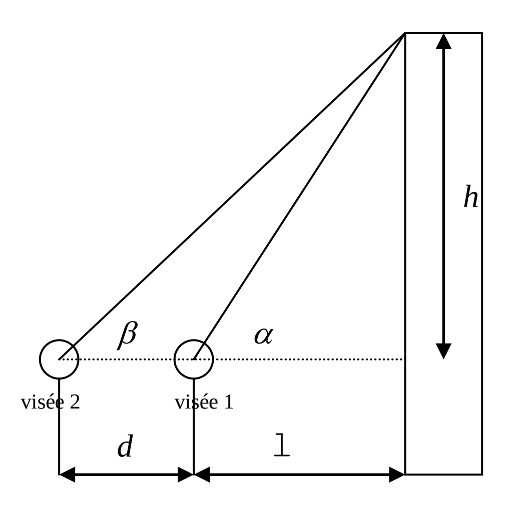


MESURE A L'ASTROLABE
D'UNE HAUTEUR INACCESSIBLE

Il s'agit de déterminer, par double visée à l'astrolabe, la hauteur de l'horloge située dans l'aile Est de la place des Vosges.



1- VISEES ET MESURE



1ère visée

- Tenez l'astrolabe verticalement.
- Placez l'alidade sur la graduation 8 des ombres verses.
- Déplacez-vous de façon à viser l'horloge à travers les deux pinnules (*sans tourner l'alidade*).
- Marquez votre position au sol.

2ème visée

- Placez l'alidade à la graduation 6 des ombres verses.
- Reculez de façon à viser l'horloge dans les pinnules, sans tourner l'alidade.
- Marquez votre position au sol.

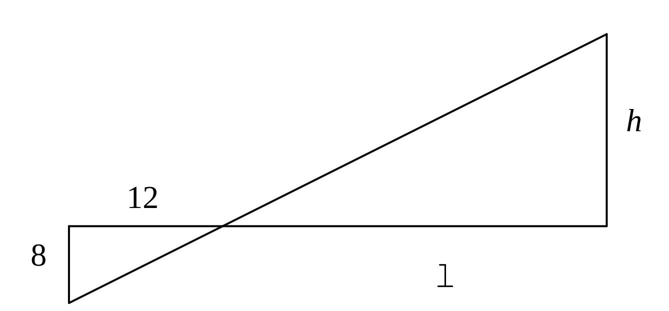
Mesure

Mesurez au sol la distance *d* entre les deux repères de visée :

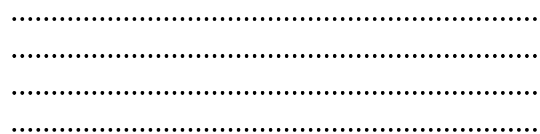
***d* = m**

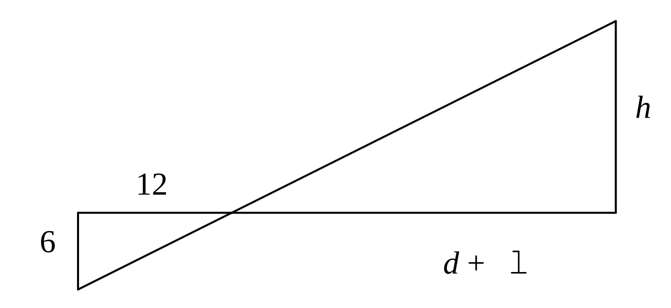
2- CALCULS

Compléter :



A la 1ère visée, d'après l'énoncé de Thalès, on a :





D'où $l = \frac{3}{2} h$.

A la 2ème visée, d'après l'énoncé de Thalès, on a :

h = ... × (d + l)

En remplaçant l (que l'on ne connaît pas) par $\frac{3}{2} h$, on obtient alors :

....

....

....

....

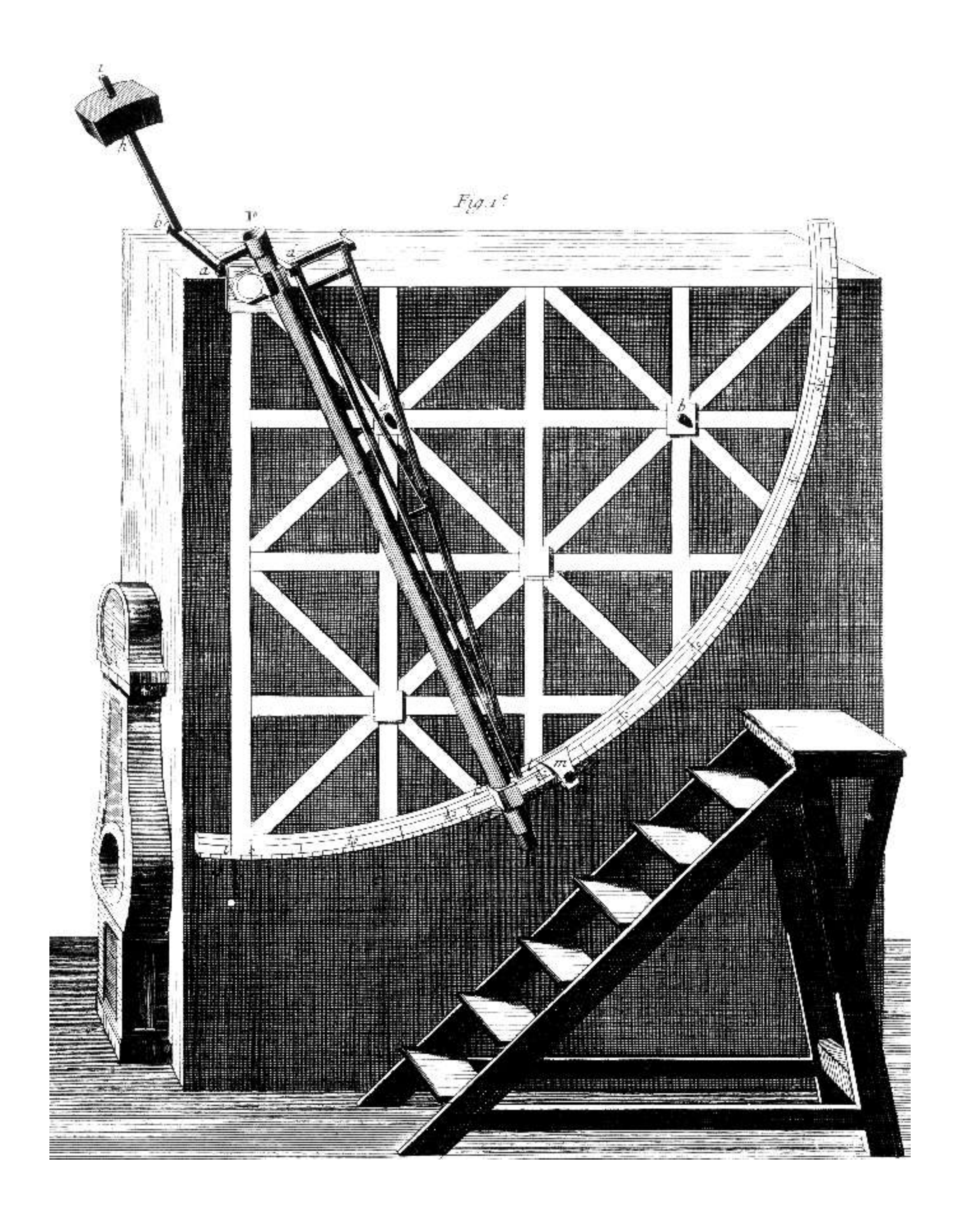
....

Et ainsi : **h = ... × d** .

Ayant mesuré d = ... m, on a donc **h = ... m** .

Sachant que la taille de l'observateur est de **.......... m** ,

on en déduit que la hauteur de l'horloge est de **......... m**


Fig. 1.e



QUELQUES NOTIONS D'ASTRONOMIE

Le but de cette séance est de :

- se familiariser avec l'échelle de distance dans l'univers à travers quelques objets astronomiques très connus ;
- se représenter de manière simple l'univers observable ;
- savoir reconnaître quelques astres.

I - ECHELLE DE DISTANCE

Etoile filante, satellite, planète, étoile ou *galaxie* sont des mots qui nous sont très familiers. Les dimensions de ces objets ou encore les distances qui nous en séparent doivent être définies dans de nouvelles unités comme *l'unité astronomique*, *l'année-lumière* ou encore le *parsec*.

On peut se représenter l'Univers comme un ensemble de trois domaines qui s'emboîtent les uns dans les autres. Le premier, le *système solaire*, est des centaines de milliers de fois moins grand que le deuxième, la *Galaxie*. Cette dernière est des centaines de milliers de fois moins vaste que le troisième, *l'Univers observable*.

1) Le système solaire

La ***Terre*** est une sphère de 6400 km environ, entourée d'une atmosphère de gaz qui s'étend jusqu'à quelques centaines de kilomètres d'altitude.

Une ***étoile filante*** est le phénomène lumineux qui se produit lorsqu'une poussière extraterrestre arrive sur les couches denses de l'atmosphère (au dessous de 100 km d'altitude).

Les ***satellites artificiels*** sont sur des orbites autour de la Terre comprises le plus souvent entre 200 et 600 km d'altitude. (Les satellites géostationnaires sont, eux, à une altitude de 36 000 km).

La ***Lune*** se situe à une distance de la Terre de 384 000 km ; c'est à dire que la lumière met un peu plus de 1 seconde pour nous parvenir de notre satellite.

Le Soleil se situe à une distance de la Terre, appelée par définition unité astronomique (abrégé u.a.), de 150 millions de km. La lumière solaire met environ 8 minutes pour nous parvenir.



Les planètes du ***système solaire*** sont, par ordre croissant de distance au Soleil : *Mercure* (0,4 u.a.), *Vénus* (0,7 u.a.), *Terre* (...........), *Mars* (1,5 u.a.), *Jupiter* (5,2 u.a.), *Saturne* (9,5 u.a.), *Uranus* (19,2 u.a.), *Neptune* (30 u.a.) et *Pluton* (39,5 u.a.).

Calculer le temps que met la lumière du Soleil pour atteindre Pluton :

....
....
....
....
....

Les ***comètes*** sont de très petites planètes de glaces et de poussières. Elles ont des orbites très allongées autour du Soleil. Elles proviennent de la ceinture de *Kuiper* située entre 40 et 100 u.a.

Ci-contre, la comète de 1843, au dessus-de l'observatoire de Paris.

2) Notre Galaxie

Les distances entre les ***étoiles*** sont si grandes qu'il faut changer d'unité. On appelle ***l'année-lumière*** (a.l.) la distance parcourue par la lumière en une année. Ainsi une année-lumière correspond à $9{,}5.10^{12}$ km ou encore 63 000 unités astronomiques.
On définit aussi le ***parsec*** comme étant égal à 3,26 années-lumière.
Les étoiles proches les plus brillantes du ciel sont *Sirius* (8,7 a.l.), *α Centauri* (4,2 a.l.), *Altaïr* (16,5 a.l.) mais attention *Canopus* qui est une étoile plus brillante que *α Centauri* se trouve à environ 1200 a.l. !

Notre ***Galaxie*** est un très grand disque aplati contenant des milliards d'étoiles et de vastes nuages de poussières appelés nébuleuses. Le système solaire se situe à environ 30 000 a.l. du centre galactique et à 20 000 a.l. du 'bord' de la Galaxie.

3) L'Univers observable



Lorsque nous observons des objets astronomiques, nous voyons dans le passé. Lorsque nous détectons un rayonnement venant du centre de la Galaxie, nous le voyons tel qu'il était il y a 30 000 ans !
La lumière émise par des galaxies extérieures peut nous arriver après un voyage de millions ou même de milliards d'années.
La célèbre *galaxie d'Andromède* (image ci-contre) se situe à 2 millions d'années-lumière. La galaxie *M51* se situe à 12 millions d'années-lumière. Plus loin encore, les galaxies

semblent toutes s'éloigner de la nôtre : c'est une des constatations qui a abouti à la théorie du ***Big Bang***.
Les objets les plus lointains (donc ceux qui s'éloignent le plus vite de notre Galaxie) observés se situe à environ 15 milliards d'années-lumière : on les appelle les ***quasars***. Ce sont des objets très étranges ; peut-être représentent-ils l'émission lumineuse des toutes premières galaxies.

II - PRESENTATION ET RECONNAISSANCE DE QUELQUES OBJETS ASTRONOMIQUES (DIAPOSITIVES)

1) Le système solaire

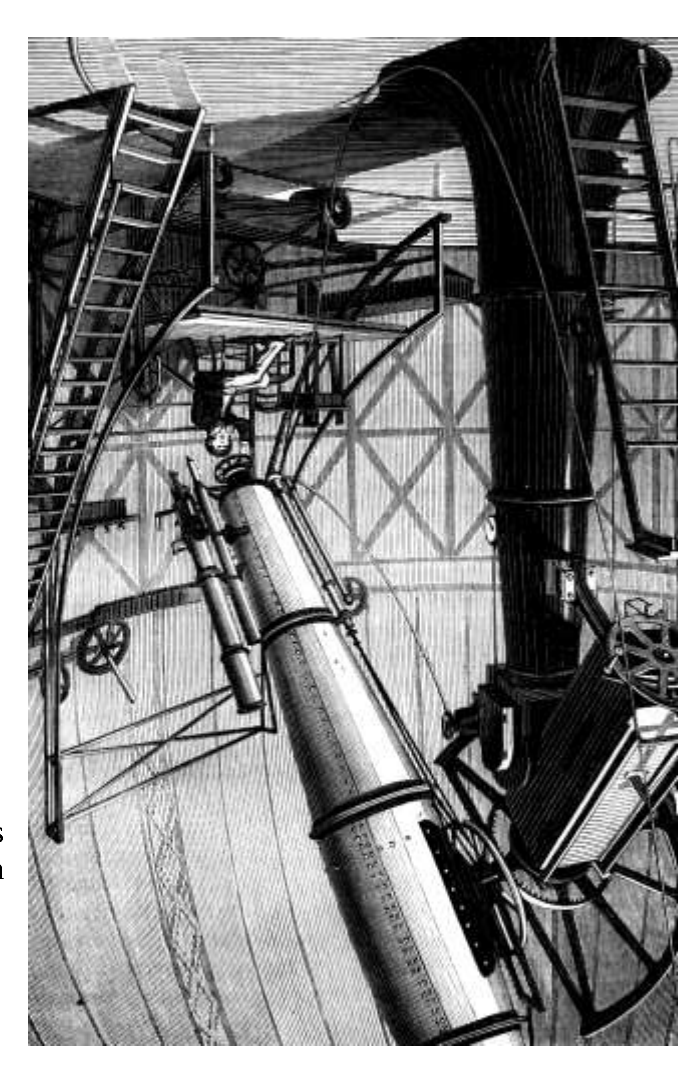
- Mercure
- Vénus
- Lune
- Mars
- Jupiter et ses satellites
- Saturne
- Uranus
- Neptune.

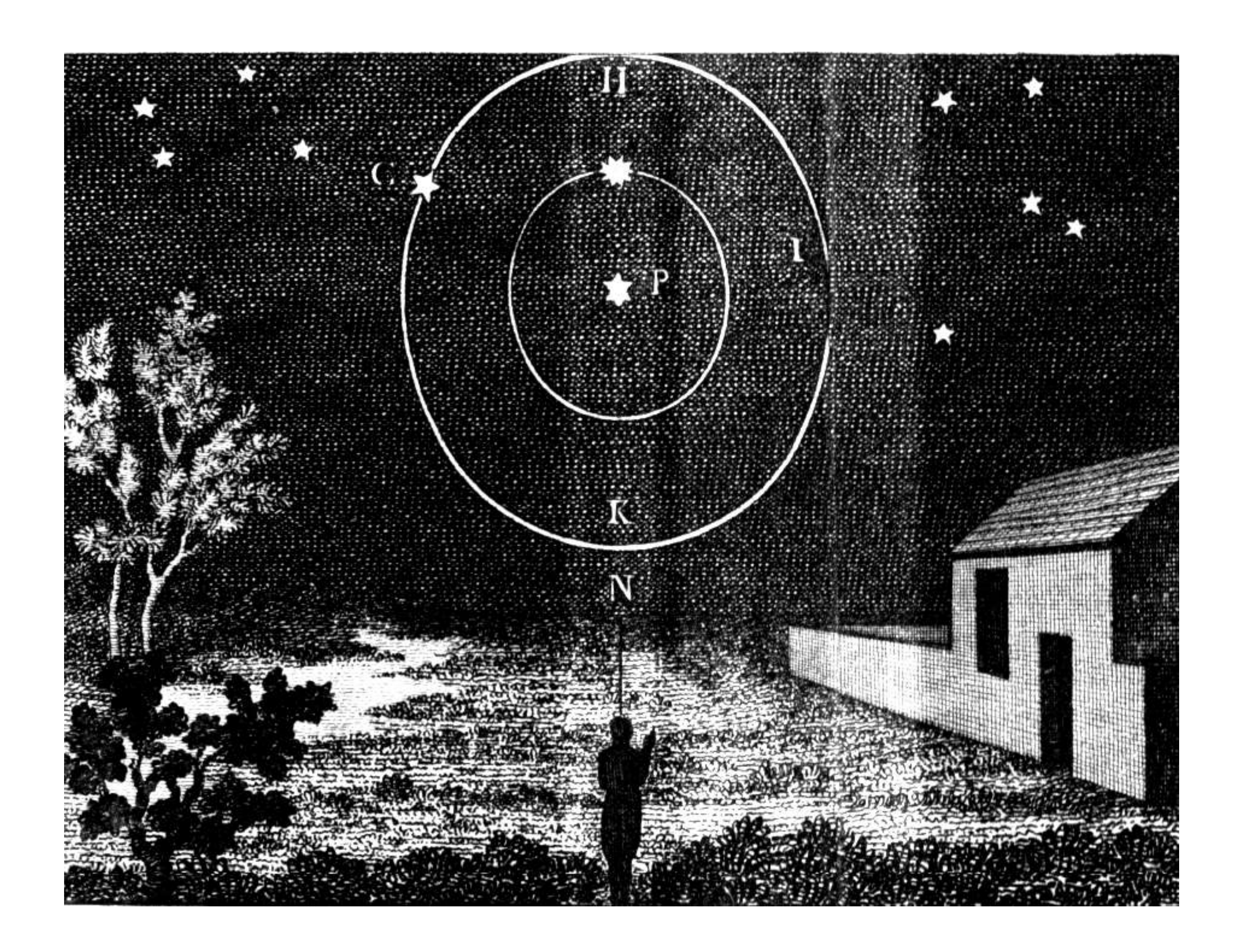
2) Les étoiles et galaxies

- Mouvement apparent
- Amas ouvert
- Galaxie NGC 253
- Nébuleuse dans le sagittaire
- Nébuleuse d'Orion
- Galaxie d'Andromède
- Pleïades.

3) L'Univers profond

- Quelques découvertes récentes (Ciel et Espace et présentation d'autres revues et livres).




H
C
I
P
K
N



COMMENT SE REPERER
PARMI LES ETOILES ?

Le but de cette séance est de :

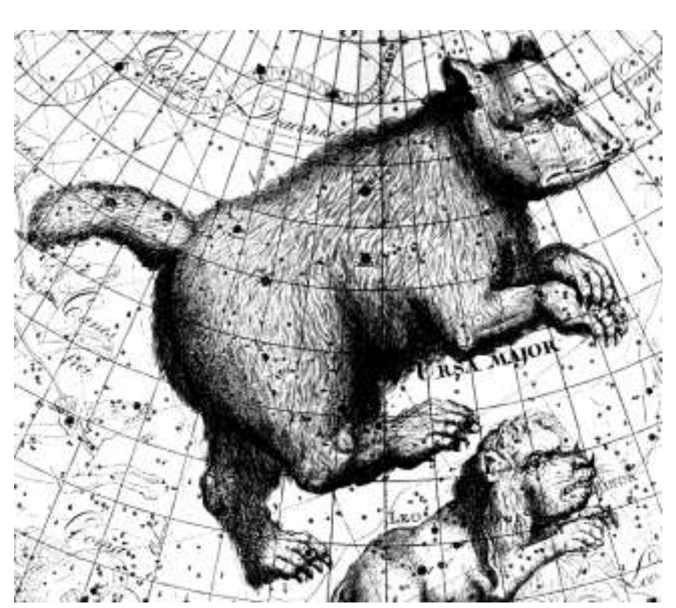
- reconnaître quelques constellations ;
- repérer les étoiles les plus brillantes ;
- savoir retrouver rapidement dans le ciel les étoiles figurant sur l’astrolabe.

Avec un peu d’entraînement et de méthode, il devient très facile de se repérer dans le ciel.

I - LES CONSTELLATIONS

Par une très belle nuit, on peut observer jusqu’à 2000 étoiles dans le ciel. Ces étoiles ont été regroupées sur la sphère céleste en différentes figures imaginaires. Ces figures sont appelées constellations ; il y en a 88.

1) Désignation des étoiles



On utilise l’alphabet grec pour désigner, en fonction de l’intensité lumineuse, chaque étoile d’une même constellation.

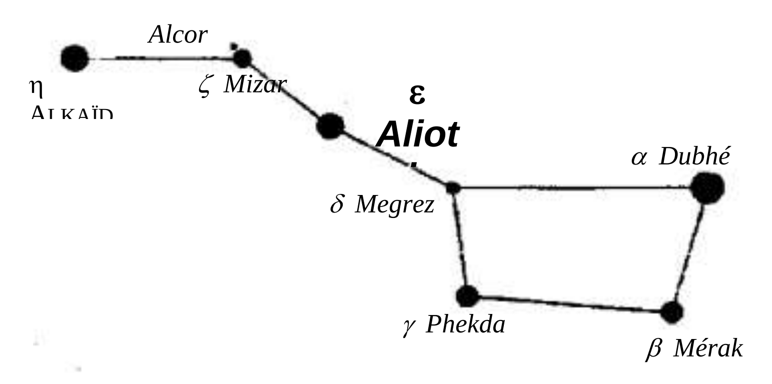
L’étoile la plus lumineuse s’appelle α (alpha), la suivante β (bêta) etc.

α alpha	ε epsilon
β bêta	ξ dzêta
γ gamma	η êta
δ delta	θ thêta ...

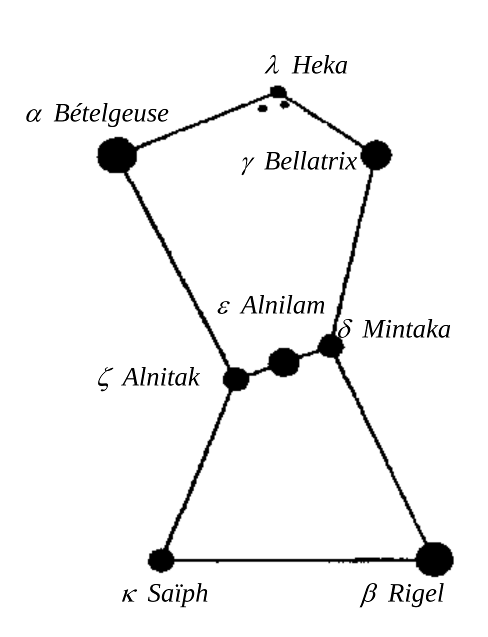
Exemple : α du *Centaure* est l’étoile la plus brillante de la constellation du *Centaure*.

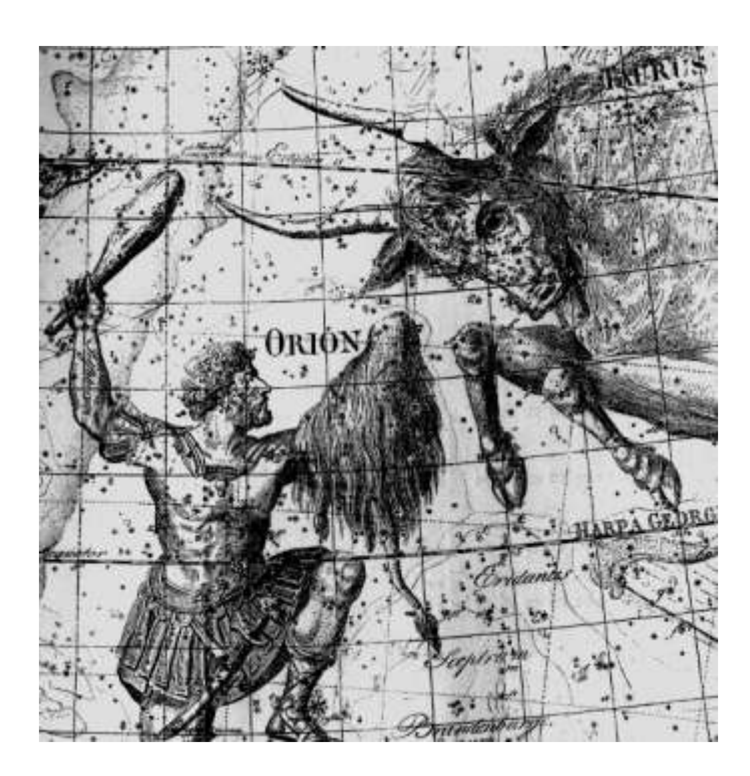
2) Deux constellations importantes pour se repérer

a) La Grande Ourse.



b) Orion.

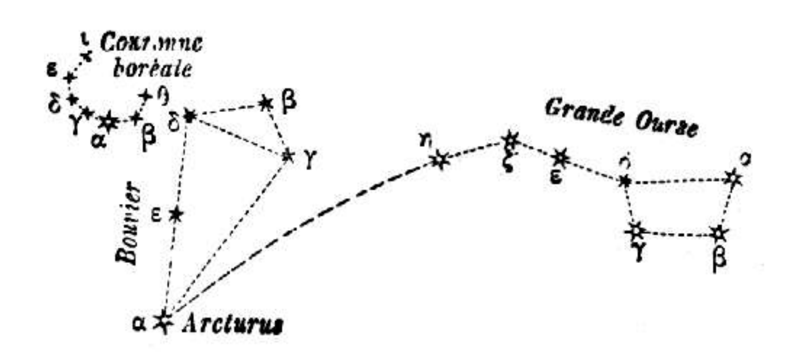




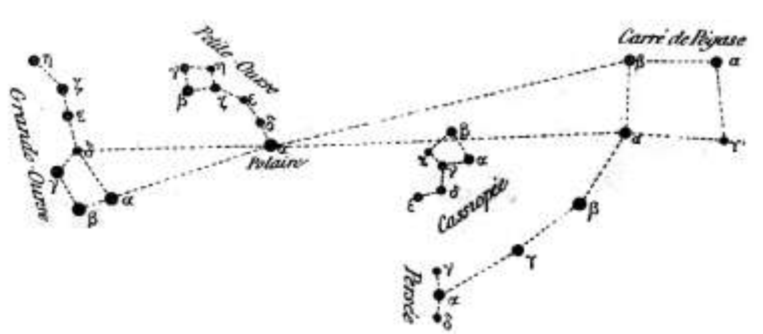
II - LES ALIGNEMENTS

Cette méthode permet de relier de manière simple des étoiles les unes aux autres.
En été, les alignements partent de la *Grande Ourse*, en hiver, ils partent d'*Orion*.

1) Ciel d'été

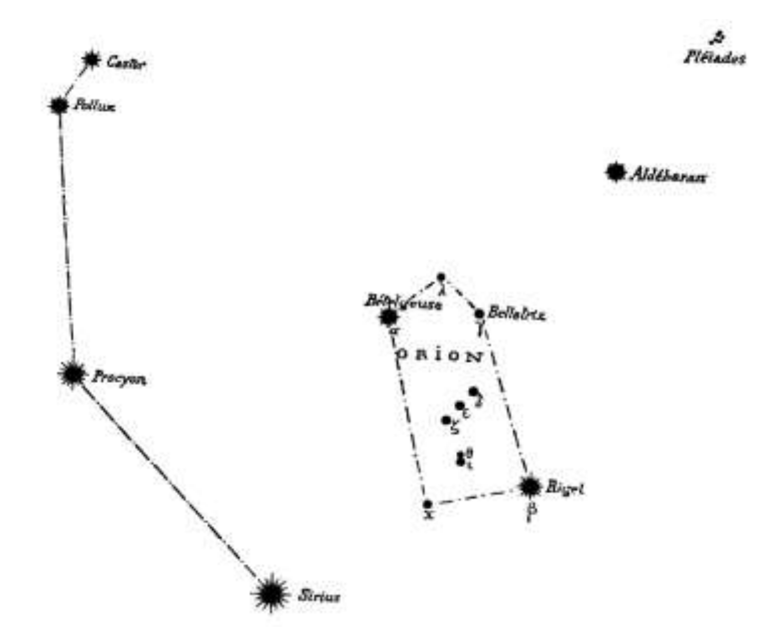


Il faut commencer par repérer la *Grande Ourse*, puis en prolongeant 5 fois l'alignement α-β on trouve *l'Etoile Polaire*.
Repartant de la Grande Ourse, en prolongeant l'arc dessiné par la queue, on rencontre d'abord ***Arcturus*** appartenant au *Bouvier* puis ***Spica*** ou l'épi appartenant à la constellation de la *Vierge*. *Arcturus*, *Spica* et ***Régulus*** forme le triangle de printemps. Ce triangle brille très haut dans le ciel au mois de Mai.
A partir de l'alignement α-δ du *Bouvier*, on trouve ***Véga*** de la constellation de la *Lyre*. *Véga* fait partie du triangle d'été avec ***Déneb*** du *Cygne* et ***Altaïr*** de l'*Aigle*.



Revenons à la *Grande Ourse*, la ligne allant de δ à la *Polaire*, prolongée d'une longueur à peu près égale, vous mènera à *Cassiopée* (un W ou M selon l'heure).
Enfin, en prolongeant la ligne passant par δ-β de la *Grande Ourse*, on rencontre dans les *Gémeaux*, ***Castor*** et

Pollux.



2) Ciel d'hiver

En hiver, on débute la visite par la très belle constellation d'*Orion* et deux des étoiles les plus brillantes du ciel : *Bételgeuse* et *Rigel*. Les trois étoiles alignées forment les *Trois Rois* ou encore le *Baudrier* d'*Orion*. Prolonger le baudrier vers l'horizon, on trouve ***Sirius***, l'étoile la plus lumineuse. En prolongeant le baudrier dans l'autre sens on trouve ***Aldébaran*** de la constellation du *Taureau* puis les *Pléiades*, amas de sept étoiles.

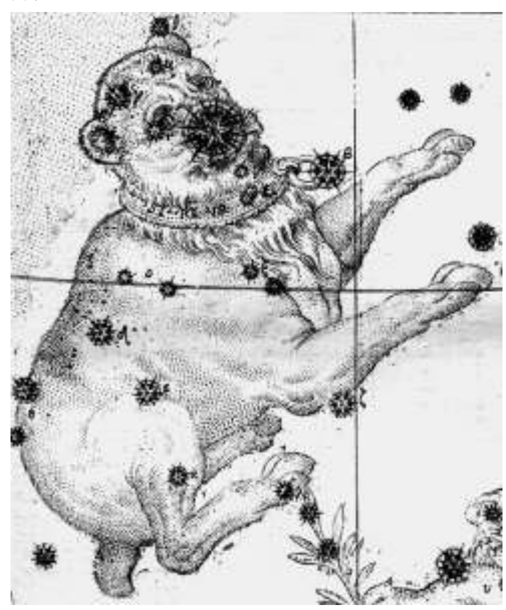
III - POUR ALLER PLUS LOIN

Maintenant que vous savez vous repérer parmi ces étoiles, vous pouvez, avec une simple paire de jumelles, faire des observations remarquables.

Quelques exemples :

- La *voie lactée* apparaît sous la forme de milliers d'étoiles.
- Les *Pléiades* se révèlent contenir environ 250 étoiles.
- La *nébuleuse d'Orion* devient visible.
- On peut observer les étoiles variables : β de la constellation de *Persée* (***Algol***) a un éclat maximum pendant 2,5 jours, puis l'intensité lumineuse diminue en 2 heures 30 et revient à la normale en 2 h 30 également. Cette variation d'intensité lumineuse s'explique par la présence d'une étoile obscure tournant autour d'*Algol* et l'éclipsant de manière périodique.

Et plein d'autre choses......



Sirius, l'étoile la plus lumineuse du ciel

A MESSIRE

JEAN-BAPTISTE LANGUET DE GERGY,

CURÉ DE SAINT SULPICE,

ABBÉ DE BERNAY,

PERE DES ORPHELINS ET DES PAUVRES,

ET JUSTE ESTIMATEUR DES BEAUX ARTS;

QUI

JOIGNANT À DES CONNOISSANCES SUBLIMES

UNE GRANDE SAGESSE DANS L'ADMINISTRATION,

UNE CONSTANCE INÉBRANLABLE DANS LES ENTREPRISES,

UN AMOUR DÉCLARÉ POUR LE BIEN DE L'ÉTAT,

ET UN ZÉLE ARDENT POUR LA RELIGION,

EST PARVENU

A FAIRE ÉLEVER DANS LA CAPITALE DE CET EMPIRE,

UN TEMPLE DIGNE DE LA MAJESTÉ DU TRÈS-HAUT;

OÙ

APRÉS AVOIR CONSACRÉ

AU CULTE ET À LA GLOIRE DU SEIGNEUR

TOUT CE QU'ON PEUT RASSEMBLER DE PRÉCIEUX,

IL A FAIT PLACER

TANT POUR L'EXACTITUDE DU COMPUT ECCLÉSIASTIQUE,

QUE POUR LE PROGRÈS DE L'ASTRONOMIE,

UN GNOMON ET UN OBÉLISQUE

SUR LA LIGNE MÉRIDIENNE,

EN M. DCC. XLIV.

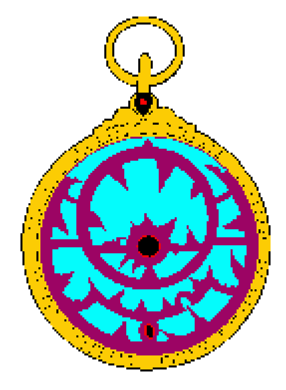
a ij

Page de dédicace des "Institutions Astronomiques", par Lemonnier, astronome de Louis XV
1746



Méridienne de l'église Saint-Sulpice (Paris VIe)

UN EXEMPLE DE FONCTION
"l'équation du temps"



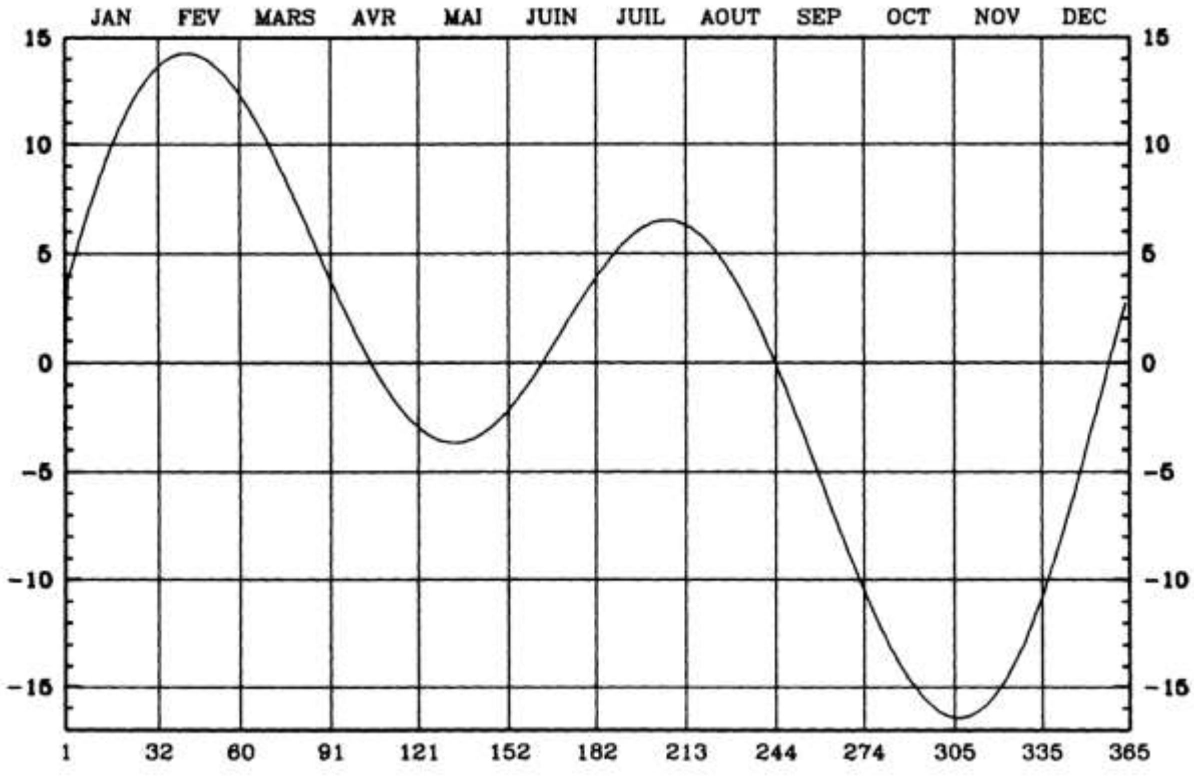
L'heure donnée par l'astrolabe est ***l'heure solaire locale vraie***. Pour retrouver l'heure de la montre, plusieurs corrections sont à faire.

I) La première correction à effectuer est pour tenir compte de la ***longitude du lieu d'observation***. L'heure officielle est donnée pour une observation sur le méridien de Greenwich.
Sachant que l'on observe à Paris, situé à 2°20' Est de Greenwich, et que la Terre fait 360° en 24h, doit-on enlever ou ajouter et combien, à un temps donné pour le méridien de Greenwich ?
....
....
....

II) La deuxième correction consiste à ajouter une quantité variable *E* (nommée ***l'équation du temps***) à ***l'heure solaire vraie***, pour obtenir ***l'heure solaire moyenne*** .
C'est pour tenir compte de deux phénomènes :

- la vitesse irrégulière de la Terre sur sa trajectoire elliptique,
- la position variable du Soleil par rapport à l'équateur selon les saisons.

E est une ***fonction*** dont la ***variable*** est le jour de l'année (de 1 à 365). La ***représentation graphique de E*** est donnée ci-dessous (ordonnées en minutes) :



Equation du temps d'après les éphémérides 1999 du Bureau des Longitudes

1. Quelle est la valeur de *E* le 1er mars, c'est à dire *E*(60) ? ....

2. Quelle est l'image par *E* du 121ème jour (1er mai) ? ....
3. Quels sont les antécédents de 0 par *E* ? ....
4. Quelles sont les périodes de l'année où la fonction *E* est décroissante ? ....
   ....
5. Que lit-on sur la courbe comme maximum et minimum ? De combien est la correction *E* à effectuer ces jours là ? ....
   ....
6. Expliquer, à l'aide d'exemples pris sur cette courbe, les notions de "*maximum local*" (ou minimum local) et "*maximum global*" (ou minimum global). ....
   ....
   ....
   ....

III - En effectuant les deux corrections précédentes, on obtient l'heure en ***temps universel*** (UT), c'est l'heure de Greenwich.

1. On lit sur l'astrolabe, à Paris le 1er octobre, 21h30. Quelle heure est-il en temps universel ? ....
2. Enfin, pour passer du ***temps universel*** à ***l'heure légale*** en France (heure de la montre), il faut ajouter 1 heure en hiver et 2 heures en été.
   a) On lit sur l'astrolabe, à Paris le 1er août, 21h10. Quelle heure est-il à la montre ? ....
   b) On lit sur l'astrolabe, à Paris le 1er décembre, 19h45. Quelle heure est-il à la montre ? ....

En résumé : **UT = Hsv - 9,5m + *E*** (pour la longitude de Paris) et pour trouver l'heure légale de la montre à partir de celle lue sur l'astrolabe : HL = UT + 1 en hiver et HL = UT + 2 en été. Quant à la valeur de *E*, il faut la lire sur une courbe.

Corrigé de l'activité
"L'EQUATION DU TEMPS"

I - Correction de longitude :

Il est, au Soleil, plus tard à Paris qu'à Greenwich. Pour tenir compte du fait que Paris est à 2°20' Est de Greenwich, on doit donc ajouter $\frac{24}{360} \times \left(2 + \frac{20}{60}\right)$ heures à celle de Greenwich.

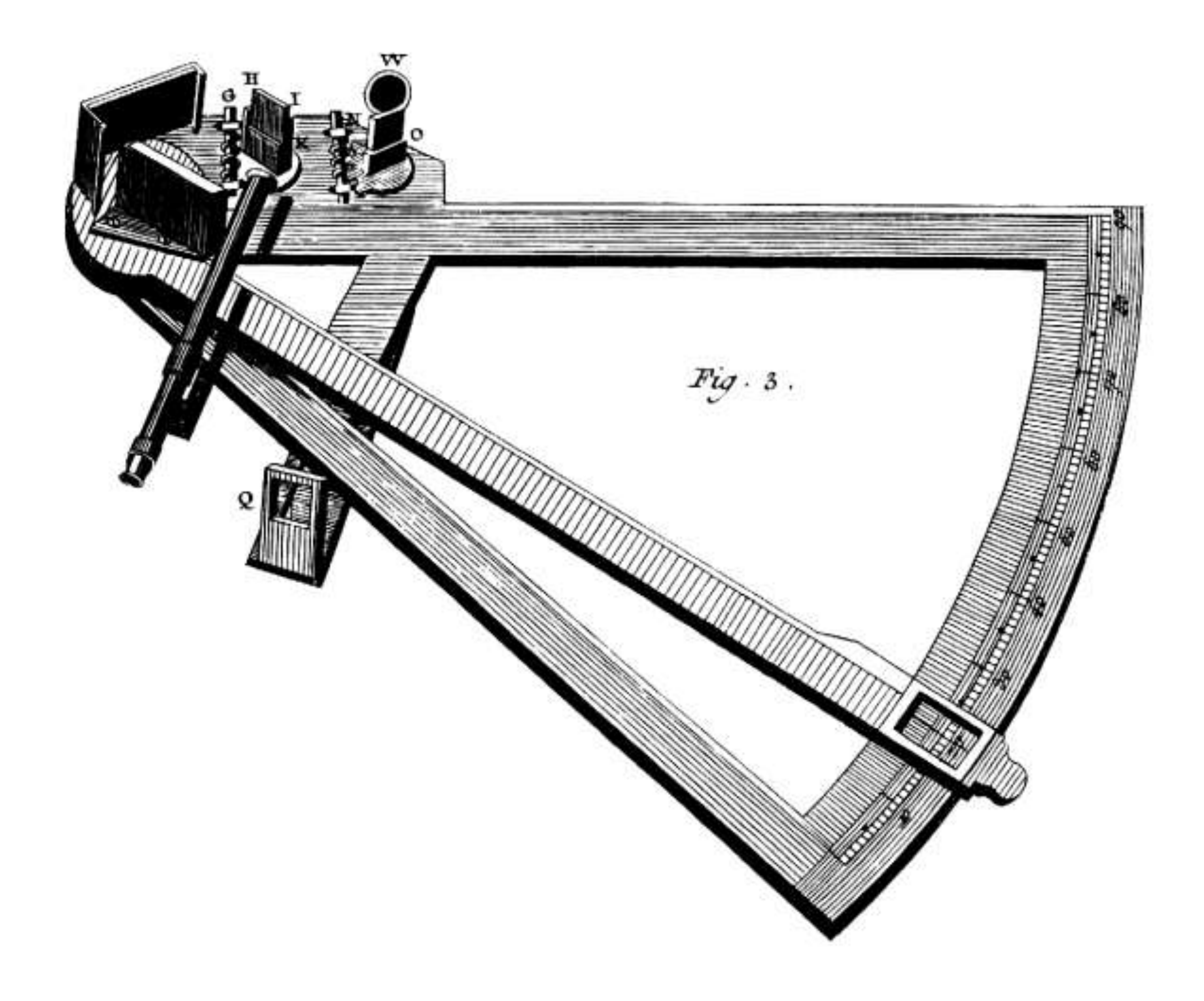
Soit environ 9,33 minutes.

II - Etude de la courbe de l'équation du temps :

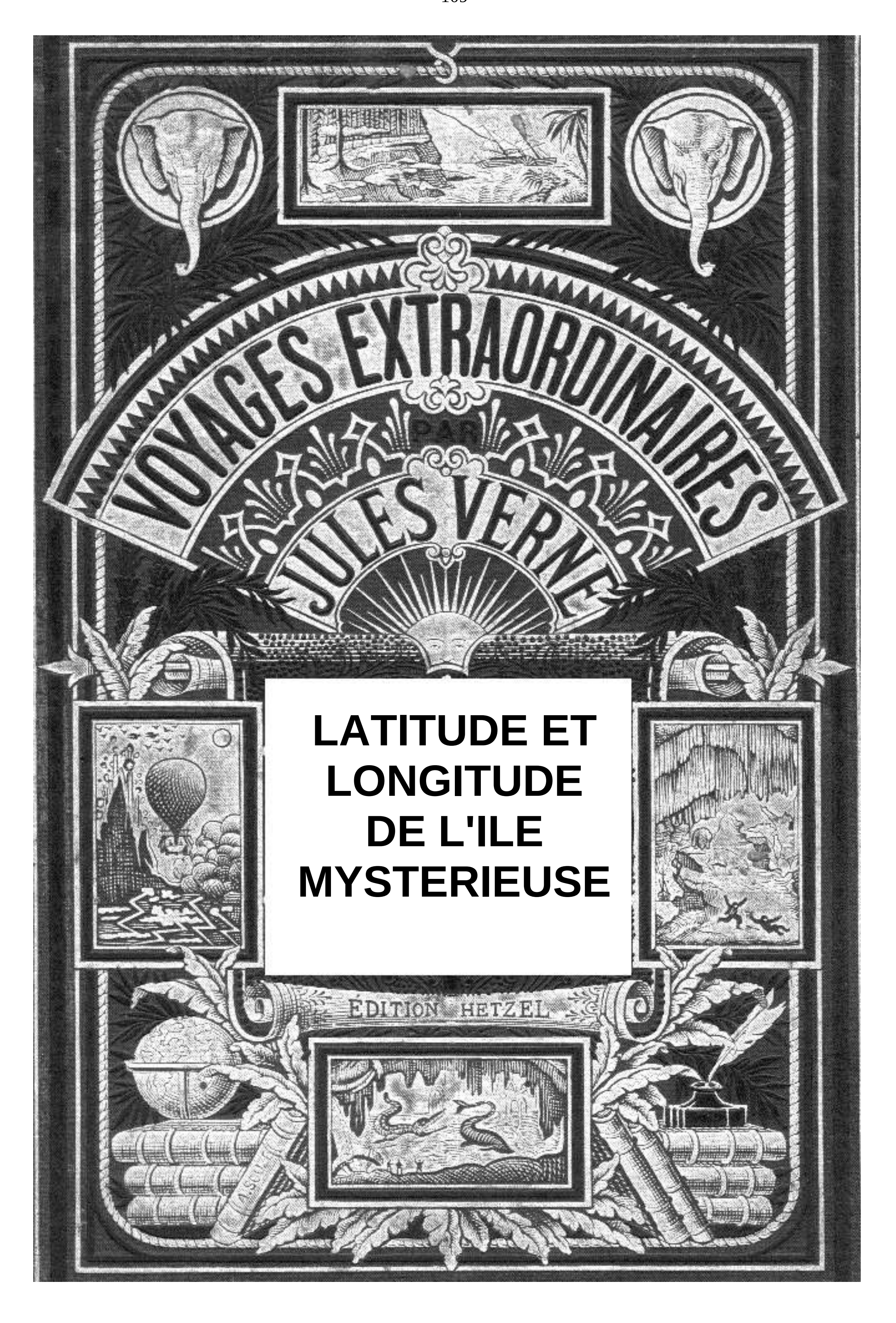
1) On lit approximativement, pour le 1er mars, $E(60) \approx 12{,}5$ minutes.
2) Pour le 1er mai : $E(121) \approx -3$ minutes.
3) Les antécédents de 0 par E (jours où la correction de l'équation du temps est nulle) sont approximativement : 105 (mi avril); 162 (10 juin) ; 244 (1er septembre) et 355 (20 décembre).
4) E est décroissante sur les intervalles [42 ; 131] (entre le 10 février et le 10 mai) et [202 ; 307] (entre le 20 juillet et le 3 octobre).
5) Le maximum de E est atteint le 10 février et vaut environ +14 minutes. Le minimum de E est atteint le 3 octobre et vaut environ -16,5 minutes.
6) On observe un "minimum local" le 15 mai (d'environ -3,5 minutes) et un "maximum local" le 20 juillet (d'environ +6,5 minutes). Cela signifie que l'équation du temps atteint à ces dates un extremum *par rapport aux jours environnants* mais non globalement (sur toute l'année).

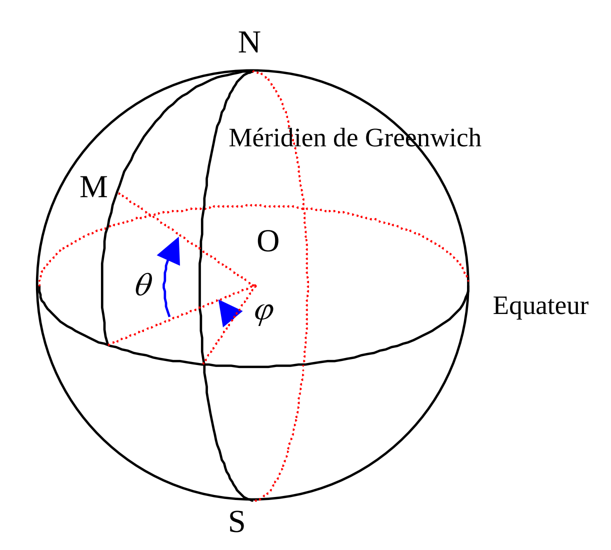
III - Conversion de l'heure solaire vraie en heure légale :

1) S'il est 21h 30m le 1er octobre à Paris, en heure solaire vraie, il est :
21h 30m - 9,33m - 10,5m   soit environ   21h 10m en temps universel (UT).
2) a) Le 1er août à 21h 10m à Paris en temps solaire vrai, il est :
21h 10m - 9,33m + 6,5m + 2h   soit environ   23h 07m à la montre (heure légale).
b) Le 1er décembre à 19h 45m à Paris en temps solaire vrai, il est :
19h 45m - 9,33m - 11m + 1h   soit environ   20h 25m à la montre (heure légale).



Octant (secteur de Halley)
Encyclopédie Diderot et D'Alembert


VOYAGES EXTRAORDINAIRES
PAR
JULES VERNE
LATITUDE ET
LONGITUDE
DE L'ILE
MYSTERIEUSE
ÉDITION HETZEL



Un point M à la surface de la terre (assimilée à une sphère) est repéré par ses coordonnées géographiques :

- φ : ***longitude*** (Est - Ouest, à partir du méridien de Greenwich) ;
- θ : ***latitude*** (Nord - Sud, à partir de l'équateur).

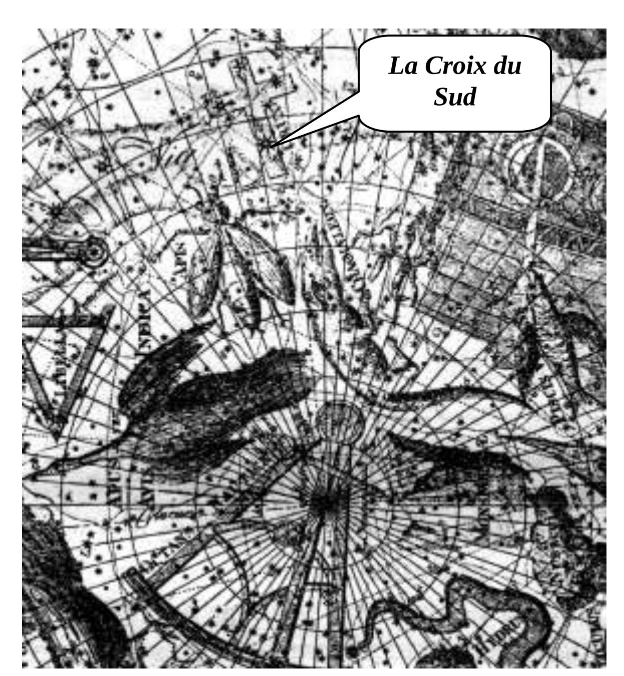
Malgré les apparences, latitude et longitude ne sont pas de nature "symétrique" et la façon dont on peut les mesurer est très différente.

Jules Verne *"L'île mystérieuse"* - 1874

"Harbert, demanda-t-il au jeune garçon, ne sommes-nous pas au 15 avril ?

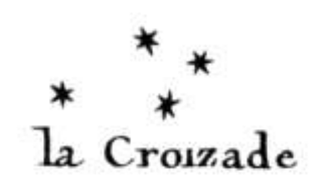
- *Oui, monsieur Cyrus, répondit Harbert.*
- *Eh bien, si je ne me trompe, demain sera un des quatre jours de l'année pour lequel le temps vrai se confond avec le temps moyen, c'est à dire, mon enfant, que demain, à quelques secondes près, le soleil passera au méridien juste au midi des horloges. Si donc le temps est beau, je pense que je pourrai obtenir la longitude de l'île avec une approximation de quelques degrés.*
- *Sans instruments, sans sextant ? demanda Gédéon Spilett.*
- *Oui, reprit l'ingénieur. Aussi, puisque la nuit est pure, je vais essayer ce soir même, d'obtenir notre latitude en calculant la hauteur de la Croix du Sud, c'est à dire du pôle austral, au-dessus de l'horizon."*

I - Mesure de la latitude



"A la lueur du foyer, il tailla deux petites règles plates qu'il réunit l'une à l'autre par une de leurs extrémités de façon à former une sorte de compas dont les branches pouvaient s'écarter ou se rapprocher. Le point d'attache était fixé au moyen d'une forte épine d'acacia, que fournit le bois mort du bûcher.
Cet instrument terminé, l'ingénieur revint sur la grève [...]. A ce moment, la Croix du Sud se présentait à l'observateur dans une position renversée, l'étoile alpha marquant sa base, qui est plus rapprochée du pôle austral.
Cette étoile n'est pas située aussi près du pôle antarctique que l'étoile polaire l'est du pôle arctique. L'étoile alpha en est à vingt-sept degrés environ, mais Cyrus Smith le savait et devait tenir compte de cette distance dans son calcul. Il eut soin aussi de l'observer au moment où elle passait au méridien inférieur, ce qui devait rendre son observation plus facile.
Cyrus Smith dirigea donc une branche de son compas de bois sur l'horizon de mer, l'autre sur alpha, comme il eût fait des lunettes d'un cercle répétiteur, et l'ouverture des deux branches lui donna la

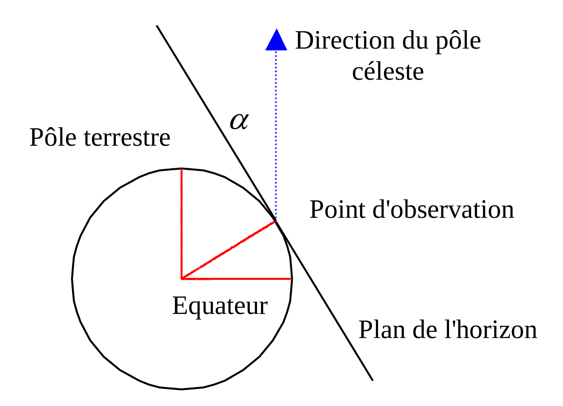
distance angulaire qui séparait alpha de l'horizon. Afin de fixer l'angle obtenu de manière immutable, il piqua, au moyen d'épines, les deux planchettes de son appareil sur une troisième placée transversalement, de telle sorte que leur écartement fût solidement maintenu.



Représentation de la Croix du Sud dans l'Encyclopédie de Diderot et D'Alembert

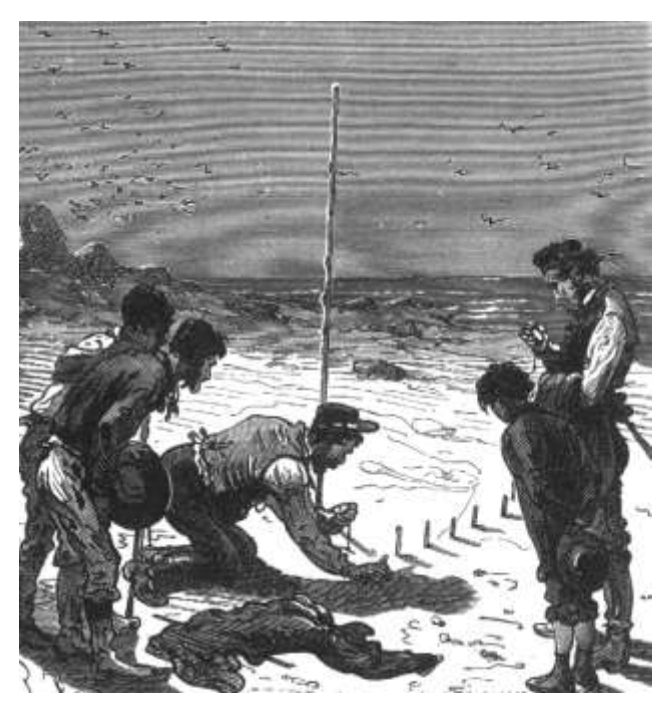
[...] La valeur de cet angle donnerait ainsi la hauteur d'alpha, et conséquemment celle du pôle au dessus de l'horizon, c'est à dire la latitude de l'île, puisque la latitude d'un point du globe est toujours égale à la hauteur du pôle au-dessus de l'horizon de ce point.
Le lendemain, 16 avril[...].
Cyrus Smith repris alors l'instrument qu'il avait fabriqué la veille et dont les deux planchettes, par leur écartement, lui donnait la distance angulaire de l'étoile alpha à l'horizon. Il mesura très exactement l'ouverture de cet angle sur une circonférence qu'il divisa en trois cent soixante parties égales. Or, cet angle était de dix degrés. Dès lors la distance angulaire totale entre le pôle et l'horizon, en y ajoutant les vingt-sept degrés qui séparent alpha du pôle antarctique, [...] se trouva être de trente-sept degrés. Cyrus Smith en conclut donc que l'île Lincoln était située sur le trente-septième degré de latitude australe, ou en tenant compte, vu l'imperfection des opérations, d'un écart de cinq degrés, qu'elle devait être située entre le trente-cinquième et le quarantième parallèle."

I – 1) Préciser l'angle mesuré par Cyrus Smith (on pourra faire un croquis).
I – 2) Montrer que la hauteur du pôle (céleste) au-dessus de l'horizon (angle α) correspond à la latitude.



II - Mesure de la longitude

"Restait à obtenir la longitude, pour compléter les coordonnées de l'île. C'est ce que l'ingénieur tenterait de déterminer le jour même, à midi, c'est à dire au moment où le soleil passerait au méridien. [...] Comment s'y prendrait Cyrus Smith pour constater le passage du soleil au méridien de l'île sans instrument ? [...] Il choisit sur la grève une place bien nette, que la mer en se retirant avait nivelée parfaitement. Cette couche de sable très fin était dressée comme une glace, sans qu'un grain dépassa l'autre. Peu importait, d'ailleurs, que cette couche soit horizontale ou non, et il n'importait pas davantage que la baguette, haute de six pieds, qui y fût plantée, se dressât perpendiculairement. Au contraire, même, l'ingénieur l'inclina vers le sud, c'est à dire du côté opposé au soleil, car il ne faut pas oublier que les colons de l'île Lincoln, par cela même que l'île était située dans l'hémisphère austral, voyaient l'astre radieux décrire son arc diurne au-dessus de l'horizon du nord, et non au-dessus de l'horizon du sud.
Harbert compris alors comment l'ingénieur allait procéder pour constater la culmination du soleil, c'est à dire son passage au méridien de l'île, ou, en d'autres termes, le midi du lieu. C'était au moyen de l'ombre projetée sur le sable par la baguette, moyen qui, à défaut d'instrument, lui donnerait une approximation convenable pour le résultat qu'il voulait obtenir.



En effet, le moment où l'ombre atteindrait son minimum de longueur serait le midi précis, et il suffirait de suivre l'extrémité de cette ombre, afin de reconnaître l'instant où, après avoir successivement diminué, elle recommencerait à s'allonger. En inclinant sa baguette du côté opposé au soleil, Cyrus Smith rendait l'ombre plus longue, et, par conséquent, ses modifications seraient plus faciles à constater. En effet, plus l'aiguille d'un cadran est grande, plus on peut suivre aisément le déplacement de sa pointe. L'ombre de la baguette n'était pas autre chose que l'aiguille d'un cadran.

Lorsqu'il pensa que le moment était arrivé, Cyrus Smith s'agenouilla sur le sable, et, au moyen de petits jalons de bois qu'il fichait dans le sable, il commença à pointer les décroissances successives de l'ombre de la baguette. Ses compagnons, penchés au-dessus de lui, suivaient l'opération avec un intérêt extrême.

Le reporter tenait son chronomètre à la main, prêt à relever l'heure qu'il marquerait, quand l'ombre serait à son plus court. En outre, comme Cyrus Smith opérait le 16 avril, jour auquel le temps vrai et le temps moyen se confondent, l'heure donnée par Gédéon Spilett serait l'heure vraie qu'il serait à Washington, ce qui simplifierait le calcul.

Cependant le soleil s'avançait lentement ; l'ombre de la baguette diminuait peu à peu, et quand il parut à Cyrus Smith qu'elle recommençait à grandir :

– *Quelle heure dit-il ?*
– *Cinq heure et une minute, répondit aussitôt Gédéon Spilett.*

Il n'y avait plus qu'à chiffrer l'opération. Rien n'était plus facile. Il existait, on le voit, en chiffres ronds, cinq heures de différence entre le méridien de Washington et celui de l'île Lincoln, c'est à dire qu'il était midi à l'île Lincoln, quand il était déjà cinq heures du soir à Washington. Or, le soleil, dans son mouvement apparent autour de la terre, parcourt un degré par quatre minutes, soit quinze degrés par heure. Quinze degrés multipliés par cinq heures donnaient soixante-quinze degrés.

Donc, puisque Washington est par 77°3'11", autant dire soixante-dix-sept degrés comptés du méridien de Greenwich, – que les Américains prennent pour point de départ des longitudes, concurremment avec les Anglais, – il s'ensuivait que l'île était située par soixante-dix-sept degrés plus soixante-quinze degrés à l'ouest du méridien de Greenwich, c'est à dire par le cent cinquante-deuxième degré de longitude ouest.

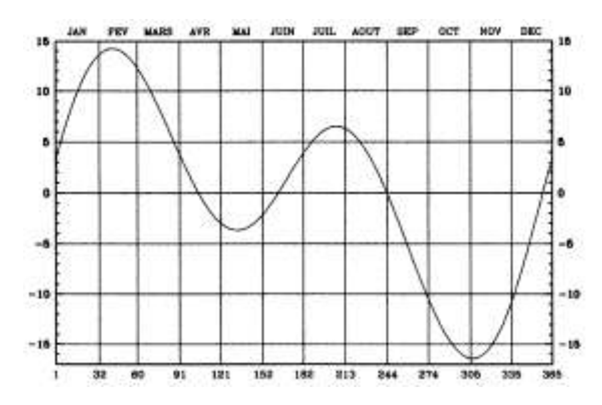
Cyrus Smith annonça ce résultat à ses compagnons, et tenant compte des erreurs d'observation, ainsi qu'il l'avait fait pour la latitude, il crut pouvoir affirmer que le gisement de l'île Lincoln était entre le trente-cinquième et le trente-septième parallèle, et entre le cent cinquantième et le cent cinquante-cinquième méridien à l'ouest du méridien de Greenwich.

[...] Il était bien évident que l'île Lincoln était à une telle distance de toute terre ou archipel, qu'on ne pourrait se hasarder à franchir cette distance sur un simple et fragile canot."

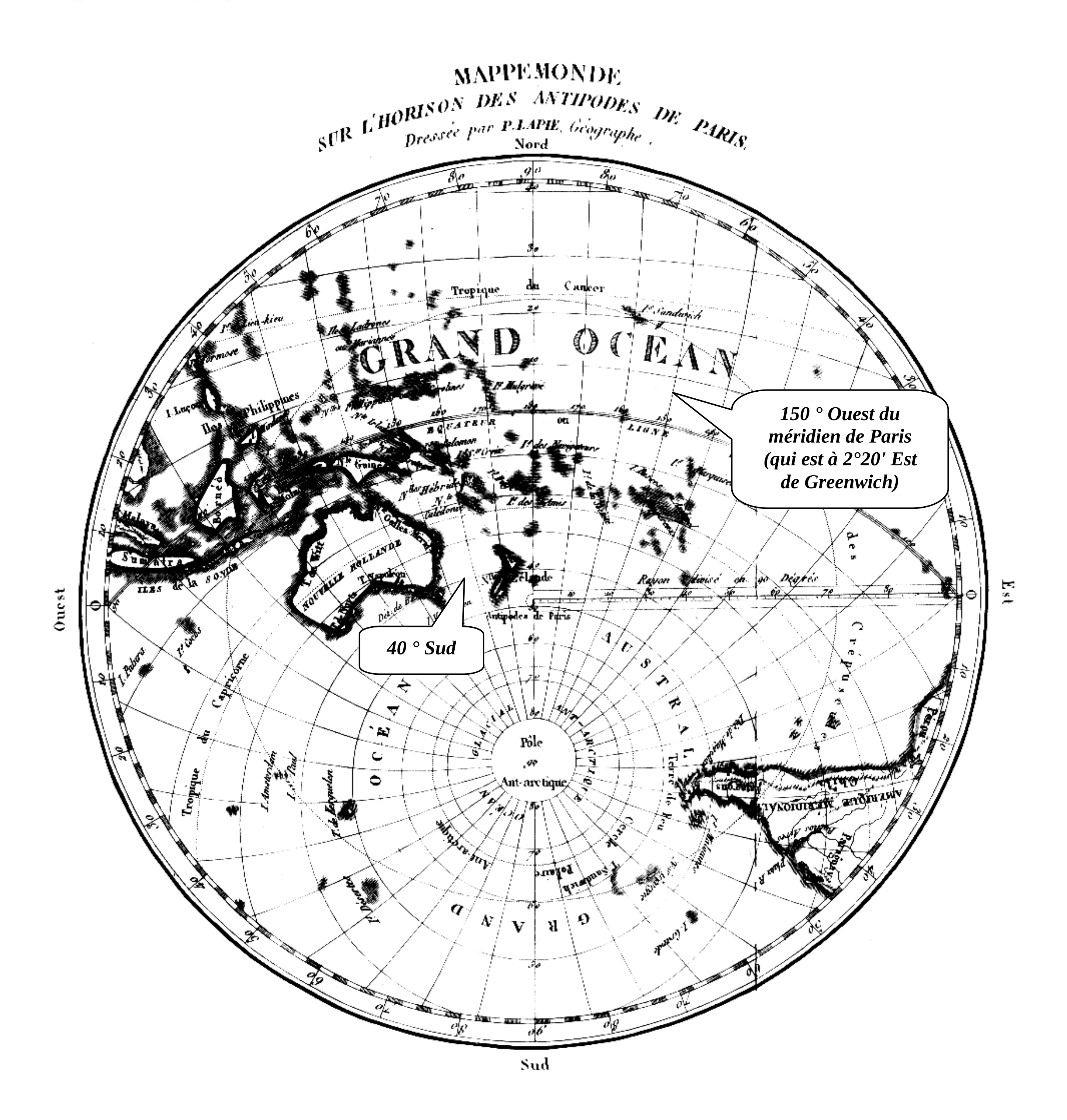
II – 1) Que signifie "culmination du Soleil" ?

II – 2) Quels sont les quatre jours de l'année où le temps (solaire) vrai se confond avec le temps moyen (celui, mécanique et régulier, des horloges) ?

Ci-contre, le graphique de "l'Equation du temps", indiquant la différence entre le temps moyen et le temps vrai.



II – 3) Quand il est midi au méridien de l'île, il est cinq heures du soir à Washington. Le méridien de l'île est-il à l'Est ou à l'Ouest de celui de Washington ?
II – 4) Pourquoi le Soleil parcourt-il, dans son mouvement apparent, 15° par heure autour de la Terre ?
II – 5) Situer l'île mystérieuse sur la carte ci-dessous (publiée en 1811, le continent antarctique y est inexploré).

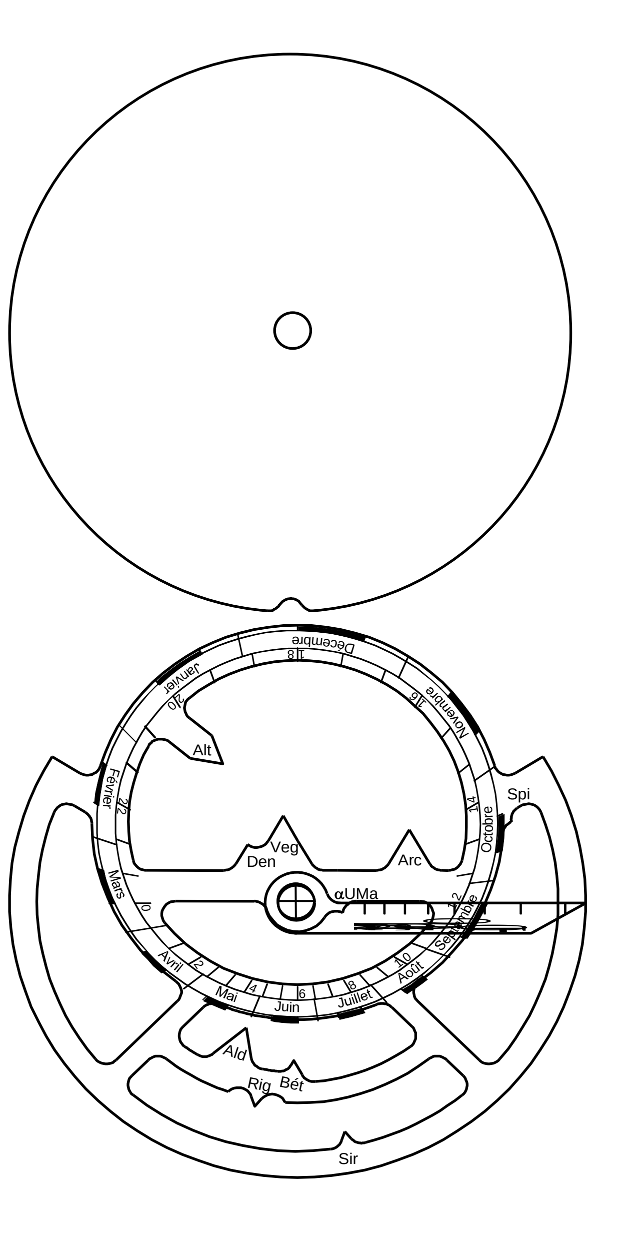


III – Utilisation de l'astrolabe

1) La latitude à l'astrolabe

La latitude de nuit

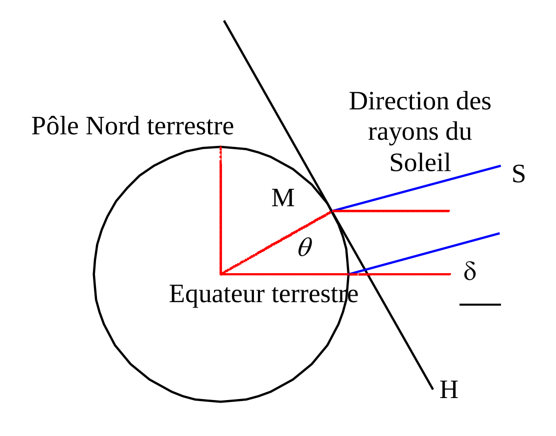
Dans l'hémisphère Nord, la latitude correspond à la hauteur de l'étoile polaire (angle que fait celle-ci avec l'observateur, par rapport à l'horizon). Il suffit de mesurer cet angle, en visant l'étoile à travers les pinnules de l'alidade.



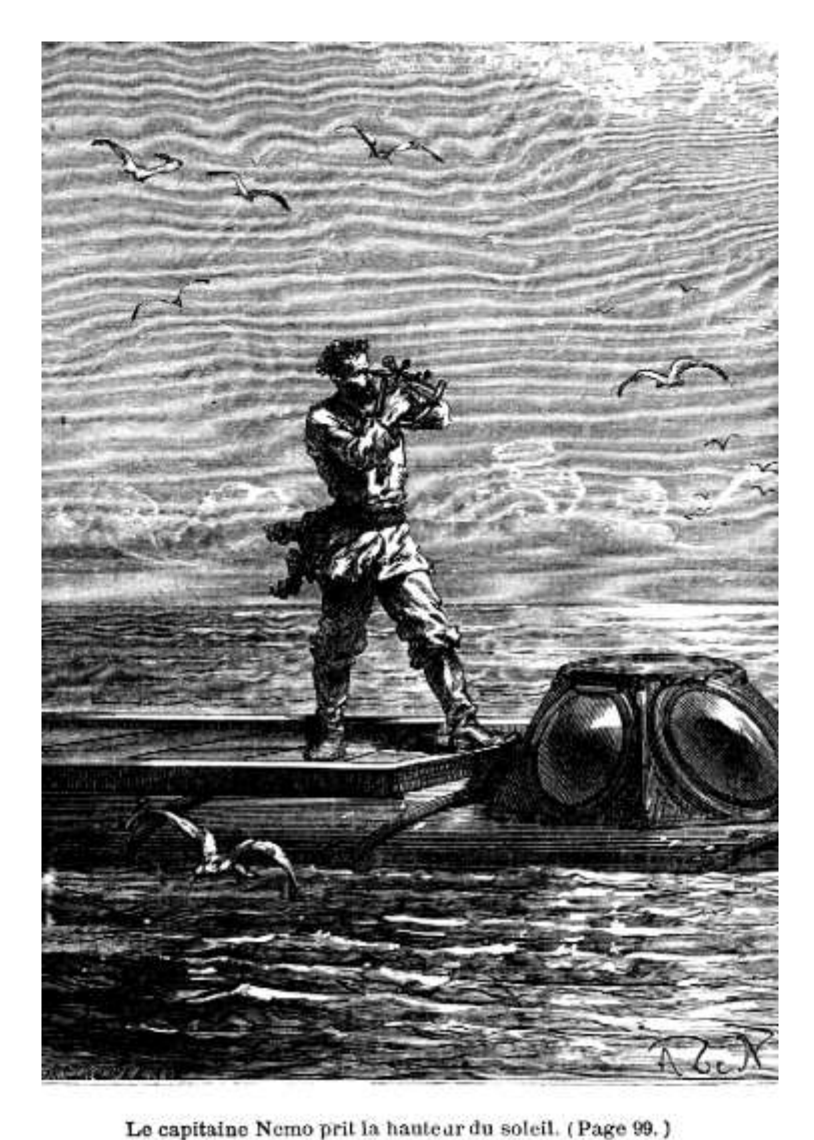
a) Comment fait-on pour retrouver, dans le ciel de l'hémisphère nord, l'étoile polaire ?
b) Où se situe l'étoile polaire, sur l'araignée de l'astrolabe ?
Comment peut-on alors retrouver la latitude d'un tympan ?

La latitude de jour

La latitude peut être déterminée à partir de la mesure de la hauteur du Soleil à midi (solaire). Cela suppose, au préalable, la connaissance de la déclinaison δ du Soleil le jour de l'observation. La déclinaison est la latitude du Soleil, par rapport à l'équateur, elle est donnée par la graduation de l'aiguille (index) de l'astrolabe, selon la date. Ci-contre, pour l'équinoxe de septembre, on $\delta = 0$ (à midi, à l'équateur, le soleil est à la verticale).



c) En s'appuyant sur la figure ci-contre, déterminer la latitude θ du lieu d'observation, en fonction de la hauteur $\alpha = \widehat{HMS}$ du Soleil à midi et de sa déclinaison δ.



Le capitaine Nemo prit la hauteur du soleil. (Page 99.)

Dans la seconde moitié du XVIIIème siècle, l'*octant*, puis le *sextant*, remplacèrent l'*astrolabe* pour les mesures de hauteur du Soleil.

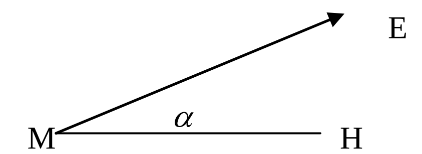
2) La longitude à l'astrolabe

L'astrolabe permet une mesure astronomique du temps local. En l'absence de chronomètre "garde temps" (on n'en disposera qu'à la fin du XVIIIème siècle), on pouvait utiliser un "signal" visible en même temps en plusieurs points de la Terre, comme les éclipses de Lune.

Vers 1010, le savant arabe *Al-Biruni* pratiqua une mesure de longitude lors d'une éclipse de Lune, lui-même opérant à *Kath*, en Asie centrale, et son collègue *Abu Al-Wafa* à *Bagdad*.
Les deux savants mesurèrent à l'astrolabe l'instant du premier contact de la Lune avec l'ombre de la Terre.
Expliquer comment ils purent, en confrontant leurs mesures, en déduire la différence de longitude entre les villes de *Kath* et de *Bagdad*.

Corrigé de l'activité
"LATITUDE ET LONGITUDE DE L'ILE MYSTERIEUSE"

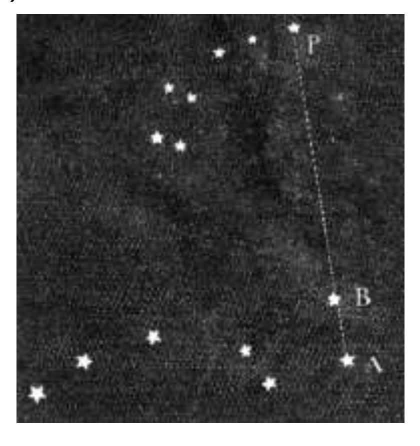
I – 1) L'angle mesuré est la hauteur de l'étoile par rapport à l'horizon, c'est à dire l'angle EMH où E est dans la direction de l'étoile, M l'observateur et H l'horizon :



I – 2) Le rayon du cercle est perpendiculaire au plan de l'horizon, et la direction du pôle céleste est perpendiculaire à celle de l'équateur.
On retrouve donc les mêmes angles : $\alpha = \theta$ (latitude).

II – 1) La culmination du soleil est sa position la plus haute dans la journée. Elle correspond au midi solaire (temps solaire vrai).
II – 2) D'après la courbe de l'équation du temps, les quatre jours où l'équation du temps est nulle sont, approximativement, le 15 avril, 15 juin, 1er septembre et 20 décembre.
II – 3) Le Soleil de Washington est "plus vieux" que celui de l'île. Il est passé à midi à Washington avant l'île. Son mouvement apparent s'effectuant d'Est en Ouest, on en conclut que l'île est située à l'Ouest de Washington.
II – 4) La Terre effectuant un tour sur elle-même en 24 heures, il en est ainsi du mouvement apparent du Soleil, soit 360° en 24 heures. On en déduit que le Soleil effectue 360/24 = 15° en une heure.

III – 1) a. Pour trouver l'étoile polaire, il suffit de repérer la Grande Ourse, puis de prolonger 5 fois le bord (par lequel on verse) de la "casserole".



III – 1) b. L'étoile polaire étant (approximativement) fixe dans le ciel, c'est autour d'elle que tourne le ciel et donc l'araignée. L'étoile polaire se trouve donc au centre (de rotation) de l'araignée (et de l'astrolabe).
Le centre du tympan (trou) correspond à la position, dans le ciel, de l'étoile polaire. Il suffit, pour connaître pour quelle latitude est calculé ce tympan, de voir quel cercle d'égale hauteur passe par son centre. Sur l'image, il s'agit, approximativement du cercle de 50°. Il s'agit d'un tympan pour la latitude de Paris.
III – 1) c. En prolongeant le rayon aboutissant au point M, on constate que :
$\theta + \alpha - \delta = 90°$ d'où $\theta = 90° - \alpha + \delta$.

III – 2) Soit t_1 l'heure (mesurée à l'astrolabe)du début de l'éclipse à Kath et t_2 l'heure du début de l'éclipse à Bagdad (qui est plus à l'Ouest). La différence de longitude entre les deux villes sera : $(t_1 - t_2) \times 15°$.





ASTROLOGIE

"L'astronomie est née de la superstition."
J.J. Rousseau.

Il ne faut pas cacher que l'astrolabe fut l'un des principaux instruments de l'astrologue et que cet usage entre pour une part importante dans le désir qu'ont éprouvé, au XIIe siècle, les occidentaux de s'emparer, aux sources arabes, des connaissances entourant cet instrument.

Un travail argumentatif a été proposé aux élèves autour de ce thème, en français.

ENONCE

Vous rédigerez deux paragraphes argumentatifs d'une dizaine de lignes chacun. Le premier critiquera violemment la croyance en l'astrologie (vous pourrez par exemple fonder la réflexion sur les savoirs acquis en cours d'histoire et de physique). Le second envisagera au contraire des cas où l'influence des astres peut-être reconnue.

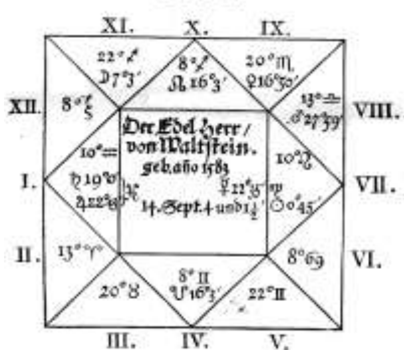
RAPPEL : tout paragraphe doit respecter les étapes suivantes :
1. Enoncé de l'idée générale du paragraphe.
2. Argument.
3. Exemple(s).
4. Bilan-transition.

Toutes ces étapes doivent être explicitées à l'aide de nombreux connecteurs logiques.

On peut, d'une certaine façon, voir ***en faveur*** de l'astrologie :

- Son ancienneté (et sa bonne santé actuelle) : l'histoire de l'astrologie est intimement liée à celle de l'astronomie, la distinction ne se faisant réellement qu'au cours du XVIIe siècle.

  Les élèves auront pu constater, lors du cours d'histoire, qu'un médecin recherchait, avec son astrolabe, son diagnostic dans les astres. Voici, par exemple, l'opinion de *Paracelse* (qui fit brûler, à Bâle, par ses étudiants en 1527, les livres de *Galien* et d'*Avicenne*) : *"Il faut s'aviser que la médecine doit se préparer dans les astres, et que les astres deviennent des moyens de guérison."*



- Le sérieux et la complexité des calculs nécessaires à l'établissement d'un horoscope (voir la détermination de l'ascendant au chapitre "De l'usage de l'astrolabe" p. 85).

  L'astrologie s'inscrivait dans un système cohérent de conception de l'Univers, dont faisait partie la théorie des éléments, mais aussi des mondes sublunaires et supra lunaires, du microcosme humain à l'image du macrocosme planétaire. Même des astronomes de renom, comme *Kepler* (voir illustration ci-contre), ont dressé, avec succès, des horoscopes et établi des almanachs.

• L'influence avérée de la Lune sur les marées, la météorologie (dictons ruraux), voire le psychisme (les nuits de pleine lune...). Par ailleurs, le Soleil rythme notre temps et est d'une grande influence sur la vie.
Citons ces versets du *Coran*, susceptibles de différentes interprétations :

"C'est Lui qui a donné son éclat au Soleil et sa lumière
à la Lune dont Il a disposé les périodes de sorte
à vous permettre de compter les saisons et les années.
Il ne les a crées que pour manifester la vérité.
Il rend ses révélations intelligibles aux doctes."

Les élèves auront été sensibilisés, lors de certains cours d'histoire et de physique, aux arguments suivants, ***contre*** le sérieux de l'astrologie :



• Le zodiaque astrologique n'a plus rien à voir avec les constellations astronomiques du même nom, du fait de la précession des équinoxes (voir le chapitre "Les bases astronomiques du calendrier"). Ainsi l'ascendant astrologique calculé à l'astrolabe ne correspond pas à la constellation du zodiaque réellement en train de se lever à l'instant de la naissance.
Attribuer à quelqu'un le caractère énergique du Lion, parce qu'il est né sous ce signe, n'a pas de sens du point de vue astronomique, puisqu'on ne sera pas né avec le Soleil dans cette constellation.

• Le choix des constellations est complètement arbitraire. Les formes qui ont été vues dans certains groupements d'étoiles, ne sont pas les mêmes selon les cultures. Par ailleurs, le regroupement en constellations, pour pratique qu'il est pour se repérer, n'est pas scientifiquement justifié. Les étoiles regroupées n'ayant rien de commun et étant situées à des distances différentes. Ce ne sont que des effets de perspective, pour l'observateur terrestre (voir le chapitre "Comment se repérer parmi les étoiles").

• Le calcul effectif de la force de gravitation rend complètement ridicule, du point de vue de la physique, les éventuelles influences sur la Terre des autres planètes -autres que la Lune- (voir le chapitre "Les principes physiques de l'Univers").



• Combien de prédictions avérées pour de fausses prédictions ?
L'intuition psychologique de l'astrologue étant plus sure que ses calculs pseudo-scientifiques, ses prédictions n'engagent que ceux qui les écoutent...

Article **ASTROLOGIE** (signé *De Lalande*)
de l'*Encyclopédie* de *Diderot* et *D'Alembert*
(première édition en 1751, édition "méthodique", ici reproduite, de 1784)

ASTROLOGIE, mot dérivé de ἄστρον, étoile, & de λόγος, discours : ainsi l'*Astrologie* seroit, en suivant le sens de ce terme, la connoissance du ciel & des astres, & c'est aussi ce qu'il exprimoit dans son origine ; mais la signification de ce mot a changé, & nous appellons maintenant Astronomie ce que les anciens appelloient *Astrologie*.

L'*Astrologie* judiciaire est l'art de prédire les évènemens futurs par les aspects, les positions & les influences des corps célestes.

L'*Astrologie* passe pour avoir pris naissance dans la Chaldée, d'où elle pénétra en Egypte, en Grèce & en Italie. Il y a des auteurs qui la font Egyptienne d'origine, & qui en attribuent l'invention à Cham : quant à nous, c'est des Arabes que nous la tenons. Le peuple Romain en fut tellement infatué, que les astrologues ou les mathématiciens, car c'est ainsi qu'on les appelloit alors, se soutinrent dans Rome malgré les édits des empereurs qui les en bannissoient.

L'*Astrologie*, étant aussi analogue à la superstition & à la crédulité des peuples qu'elle étoit favorable au crédit de ceux qui savoient l'employer, fut aussi de tout temps cultivée, autant & plus que l'Astronomie : celle-ci eut même les plus grandes obligations à l'*Astrologie*. (*M. Goguet, I, 215, III, 215 ; Kepler, Tab. Rud. præf. pag. 4.*) Aujourd'hui les livres d'*Astrologie* sont aussi méprisés qu'ils sont méprisables.

Les règles de l'*Astrologie*, que l'on prétendoit tirer de la nature des choses, étoient dans le fond absolument arbitraires : ainsi, la partie du ciel qui étoit à l'orient ou qui se levoit, formoit la maison de nativité ou la maison de vie, & celle qui alloit se coucher étoit la maison de la mort. *Voyez* MAISON.

Les influences des planètes étoient également arbitraires. Saturne, étant très-éloigné, étoit supposé une planète de nature froide. Jupiter, Vénus & la Lune étoient des planètes tempérées & bienfaisantes ; Saturne & Mars des planètes dangereuses. Le Soleil & Mercure participoient aux propriétés des unes & des autres, suivant les circonstances. (*Ptolemeus de judicis.*) Chaque planète avoit parmi les signes du Zodiaque une maison d'exaltation, où elle étoit censée exercer son pouvoir ; mais les règles de l'*Astrologie* n'étoient pas par-tout les mêmes, & l'on a beaucoup varié dans les principes comme dans les applications.

Actuellement ce n'est que dans les pays d'ignorance, en Asie, au Japon, dans les isles Maldives, où l'*Astrologie* est recherchée. Nous ne pouvons lire les anciens livres des astrologues Européens, sans déplorer l'ignorance & l'aveuglement du vulgaire, qui s'est laissé si long-temps abuser par de si sottes prédictions, & de faire observer combien il étoit utile pour le genre humain de pénétrer & d'approfondir les sciences qui ont su enfin guérir les hommes d'une si misérable imbécillité & d'une stupidité si flétrissante.

Ce n'est pas sans peine qu'enfin l'esprit philosophique a dissipé ces erreurs ; on venoit encore quelquefois, au commencement de ce siècle, consulter, sur l'avenir, des astronomes de l'Académie, & en 1705, M. Lieutaud crut devoir mettre à la tête de la *Connoissance des Temps* : « On ne trouvera ici aucune prédiction, parce que l'Académie n'a jamais reconnu de solidité dans les règles que les anciens ont données pour prévoir l'avenir par les configurations des astres. » En lisant dans le Mercure (*1763, Janvier, 11 vol. pag. 95*), une lettre où je racontois la curiosité que le Grand-Seigneur eut, en 1762, de recevoir tous les ouvrages publiés par les astronomes de l'Académie, on remarquera qu'il demandoit sur-tout les prédictions qui se faisoient sur l'avenir par la science des astres. Peut-être Sa Hautesse ne desiroit nos livres d'Astronomie, que dans l'espérance d'y voir le sort des puissances qui sembloient alors acharnées à se détruire.

Voy. MAISONS, THÊME, HOROSCOPE, DIRECTION, PROMISSEUR, SIGNIFICATEUR. (*D. L.*)

Corrigé et compte-rendu du travail argumentatif à propos de "L'ASTROLOGIE"

CORRIGE PARTIEL DU PREMIER PARAGRAPHE

N.B. : les indications figurant en italique ne doivent pas apparaître sur la copie.

- *Idée générale :* L'astrologie, qui suppose à partir de la position des planètes, une interprétation du destin des hommes, peut apparaître comme un mécanisme non rationnellement fondé.
- *Argument :* En effet, cette "méthode de lecture" a été élaborée il y a deux mille ans, et elle considère que les constellations occupent la même position qu'alors. Or, cette méthode ne tient pas compte d'un mouvement auxquels les pôles sont soumis et qui, au fil des siècles, a entraîné un décalage de la voûte céleste dont la position n'est donc pas strictement la même.
- *Exemple :* Ainsi, l'emplacement des constellations varie à cause de ce mouvement, certes peu sensible, mais qui a fini, au fil des siècles, par entraîner un décalage tel que les signes zodiacaux, ainsi qu'ils ont été institués il y a deux mille ans, ne correspondent plus aujourd'hui aux mois auxquels ils ont été attribués alors.
- *Bilan-transition :* Dans ces conditions, il apparaît bien que les prévisions astrologiques reposent sur un système fondé sur l'erreur. Cependant, l'influence des astres, les uns par rapport aux autres, peut, dans certains cas être manifeste et même se mesurer.

COMPTE-RENDU

La méthode propre à l'exercice a été maintes fois vue en cours, elle n'a pas semblé poser de problèmes aux élèves ; ils ont cependant eu beaucoup de mal à mettre en forme des idées et des arguments exposés par les professeurs des matières scientifiques et à les rendre accessibles, compréhensibles et clairs. Il faut d'ailleurs reconnaître que le professeur de français a eu également beaucoup de mal à comprendre les différents mécanismes exposés par ses collègues et à les mettre en forme afin de proposer aux élèves un "corrigé" (au moins pour le premier paragraphe).

IV – REPRESENTATIONS DE L'UNIVERS

"Nul n'atteindra la gloire de Newton, car il n'y avait qu'un monde à découvrir."

Lagrange.



"Echappé de cette prison étroite et noire, où tant d'années l'erreur m'a retenu, je laisse ici la chaîne qui me ceignait, et la main de mon envieuse et fière ennemie. [...]
C'est donc vers l'air que je déploie mes ailes confiantes.
Ne craignant nul obstacle, ni de cristal, ni de verre, je fends les cieux, et m'érige à l'infini.
Et tandis que de ce globe je m'élève vers d'autres globes et pénètre au-delà par le champ éthéré, je laisse derrière moi ce que d'autres voient de loin."

Giordano BRUNO
"L'infini, l'univers et les mondes" – 1584.





FIGURES DU CIEL ET DE LA TERRE

Les représentations de l'Univers

depuis l'Antiquité jusqu'au XVIIII siècle

I/ CARTE

- Vous localiserez sur la carte du bassin méditerranéen ci-jointe les villes ou les régions suivantes :
  Milet
  Samos
  Sicile
  Crotone (en Italie du sud)
  Athènes
  Alexandrie.
- Vous situerez aussi les 7 Merveilles du monde sur la carte, en indiquant leurs noms. Vous utiliserez un signe cartographique ponctuel pour leur localisation.
- Vous indiquerez les noms des savants* et le siècle où ils ont vécu en les inscrivant dans un rectangle que vous pointerez sur les villes où ils ont travaillé. Il s'agit d'un travail à effectuer uniquement sur la carte. Vous devez donc respectez les règles habituelles : titre, légende, soin.

*Les savants : *Thalès de Milet*, *Anaximandre*, *Empédocle*, *Platon*, *Pythagore*, *Philolaos*, *Aristote*, *Eratosthène*, *Claude Ptolémée*.

La véritable curiosité scientifique nait à Milet, la plus belle des cités grecques d'Asie Mineure au VIe av J-C. Les citoyens riches de Milet exercent le pouvoir à l'Ecclesia. Dans cette ambiance les hommes vont se mettre à réfléchir sur le monde.

D'après la remarque ci-dessus pouvez vous indiquer le régime politique que connaissait la cité de *Milet* au VI° av J-C ?

II/ MESURE DE LA TERRE

- Vous donnerez les définitions des termes suivants :
  Chaos,
  Cosmos, ce qui vous permettra d'expliquer le terme *cosmogonie*,
  Géométrie.
- Quelle est la cosmogonie de ***Thalès de Milet*** ?
- Vous présenterez en quelques lignes la biographie de *Thalès*.
- *Thalès* a beaucoup voyagé, notamment en Egypte. *Plutarque* (biographe grec v.46/49 v.125) rapporte l'événement suivant :
  « *Pharaon a aimé ta façon de mesurer la pyramide(...) en plaçant seulement ton bâton à la limite de l'ombre portée par la pyramide, le rayon de soleil tangent*

engendrant deux triangles, tu as montré que le rapport de la première ombre à la seconde était aussi celui de la pyramide au bâton. Mais on t'a aussi accusé de ne pas aimer les pharaons... »

- ◊ Vous réaliserez une figure géométrique correspondant à la situation décrite par *Plutarque*.
- ◊ Vous expliquerez le raisonnement de *Thalès*. Vous devez utiliser, pour répondre à ces deux questions, vos connaissances en mathématiques.
- ◊ Que signifie d'après vous la dernière phrase ?

- Quelle est la cosmogonie d'***Anaximandre*** élève de *Thalès* ? Voir les documents en annexe 1.
- Vous donnerez la biographie d'*Anaximandre* en quelques lignes.
- Quel est le point commun et quelle est la différence avec le système de *Thalès* ?

Les Perses envahissent l'Asie Mineure et mettent un terme à la liberté. Le tyran Polycrate en 540 prend le pouvoir, soutenu par les Perses. C'est la fin de la liberté de penser à Milet. La cité sera détruite par l'armée perse en 494. Depuis quelques décennies des réfugiés sont accueillis en Italie du sud dans la ville de Crotone. Un exilé allait devenir célèbre : ***Pythagore de Samos*** *; vous le retrouverez plus loin dans le IV.*

III/ HARMONIE DU MONDE

La régularité de certains phénomènes célestes a conduit un grand nombre de cultures à faire appel aux notions d'organisation et d'harmonie pour construire leur représentation du monde. Dans le bassin méditerranéen, les **pythagoriciens** *ont été les premiers à émettre l'idée que l'Univers se manifeste par des proportions, des rythmes, des nombres.* **Platon** *a fait l'hypothèse d'un cosmos organisé, dont il croit possible de déchiffrer les lois, fondées sur la géométrie. La croyance en l'harmonie du monde sous-tend le développement de la physique depuis 25 siècles.*

Vous utiliserez l'annexe 2 pour répondre aux questions suivantes :

- Quels sont pour ***Empédocle*** les 4 *éléments* constitutifs de l'Univers ?
- Vous rédigerez une rapide biographie d'*Empédocle*.
- Vous nommerez les polyèdres réguliers connus aussi sous l'appellation de « *solides platoniciens* ». Combien y-a-t-il de polyèdres réguliers ?
- Quelle correspondance ***Platon*** établit-il entre les éléments et les polyèdres réguliers ?
- Qu'est-il obligé d'imaginer ? Quel nom va-t-il lui donner ?

Vous utiliserez l'annexe 3 pour répondre aux prochaines questions :

- Dans son livre *Le Timée*, quelle forme ***Platon*** donne-t-il au monde ? Quelle est son argumentation ?
- En utilisant les documents des annexes 2 et 3 vous essayerez de trouver le projet poursuivi par *Platon*. Pour vous aider pensez au sens du terme *cosmos*.

IV/ LES SYSTEMES DU MONDE

Depuis 25 siècles des philosophes, astronomes, physiciens ont entrepris de bâtir des ***systèmes du monde*** *pour rendre compte de la structure générale de l'Univers. Vous avez déjà étudié les systèmes de Thalès et d'Anaximandre. D'autres se succèdent jusqu'à nos jours.*

L'école pythagoricienne

- Que sait-on de ***Pythagore de Samos*** ?
- Quelle est la particularité de l'école *pythagoricienne* ? Pourquoi peut-on parler d'une secte ?
- Un de ses disciple ***Philolaos*** divulgue ses idées : Quelle forme donne t il à la Terre ? Pourquoi ?
- Quelles observations simples les marins pouvaient-ils faire pour aboutir à la même conclusion ?

La cité d'Athènes bat les Perses à Salamine en 480. Au Ve et au IVe siècles elle devient le centre intellectuel du monde grec : Phidias, Euripide, ***Platon, Aristote****...*

L'école athénienne

- Qui est ***Platon*** ? Qu'est ce que l'*Académie* ?
- Qui est ***Aristote*** ? Qu'est ce que le *Lycée* ? Comment donne-t-il ses cours, comment appelle -t- on ses élèves?

Vous utiliserez les documents de l'annexe 4.pour répondre aux questions suivantes :

- Vous décrirez rapidement l'organisation de l'Univers selon *Aristote*.
- Quelle distinction fondamentale fait-il entre le monde terrestre et le monde céleste ? Quelles sont les caractéristiques propres à chaque monde pour *Aristote* ?
- Pourquoi cette coupure des deux mondes sera -t- elle admise par le christianisme ? Quelle est la nature du ciel pour *Aristote* et pour le christianisme ?
- A quelle époque sera -t- elle remise en cause ? Et par qui ?

A cette époque le centre du monde grec s'est encore déplacé. Désormais la science grecque s'épanouit au bord du Nil.

L’école d’Alexandrie

- Qui a fondé *Alexandrie* ?
- Quelle « Merveille » se trouve à *Alexandrie* ?
- Que savez - vous de la Bibliothèque d'*Alexandrie*, quand a -t- elle disparu ?
- Que savez vous d’***Eratosthène*** ? Vous expliquerez en détails et au besoin avec un croquis l’expérience qui lui a permis de calculer la circonférence terrestre.
- Que savez vous de **Claude Ptolémée** ? Qu'est - ce que l'*Almageste* ? Comment cet ouvrage a -t- il été transmis à l'Occident ?
- En utilisant l’annexe 5, vous direz quel problème *Ptolémée* essaye de résoudre. Que signifie "*sauver les phénomènes*" que l'on pourrait remplacer par sauver les apparences ? Pourquoi les *" planètes ralentissent, accélèrent, reviennent sur leur pas*" ? En quoi le « système de *Ptolémée* » est il une solution ?



Si au milieu du IIIe Av J-C ***Aristarque de Samos*** *a eu l’idée d’un système héliocentrique (la Terre tourne autour du Soleil) cela ne sera pas retenu. Le ciel reste un domaine à part, immuable et divin. Depuis le II-IIIe siècle après J-C la science grecque cesse de progresser. Ce savoir sera préservé par les Byzantins, nourri par la science arabe et pénétrera ainsi en Espagne, puis dans toute l’Europe du sud, il permettra à la Renaissance de s’épanouir. Un jour* ***Copernic*** *reprendra l'idée de l'héliocentrisme...*

La Renaissance

Vous utiliserez l’annexe 6 :

- Vous exposerez une biographie de ***Copernic***, combien de siècles le sépare d'*Aristarque de Samos* ?
- Vous décrirez son système héliocentrique. Pourquoi a-t-il été combattu par l’Eglise ?
- Quels astronomes vont apporter les preuves qui faisaient défaut au système de *Copernic* ?

Au XVIIe siècle

- Qui est ***Johannes Kepler*** ?
- Vous énoncerez les trois lois de *Kepler*. A quelles dates ont-elles été formulées ?
- Quel mathématicien, physicien du XVII-XVIII siècle donnera une explication physique des lois de *Kepler* ?
- Sous quelle appellation connaît-on cette théorie ?
- Vous utiliserez l’annexe 7 pour répondre aux questions concernant ***Galilée*** :

- Vous présenterez *Galilée* puis vous indiquerez les observations qu'il a exposées dans « *Le messager céleste* » en 1610.
- En quoi remettent-elles en cause la vision aristotélicienne du monde (monde terrestre et monde céleste) ?
- Quelle sera l'attitude de l'Eglise ? Pourquoi ? Quand sera-t-il réhabilité ?



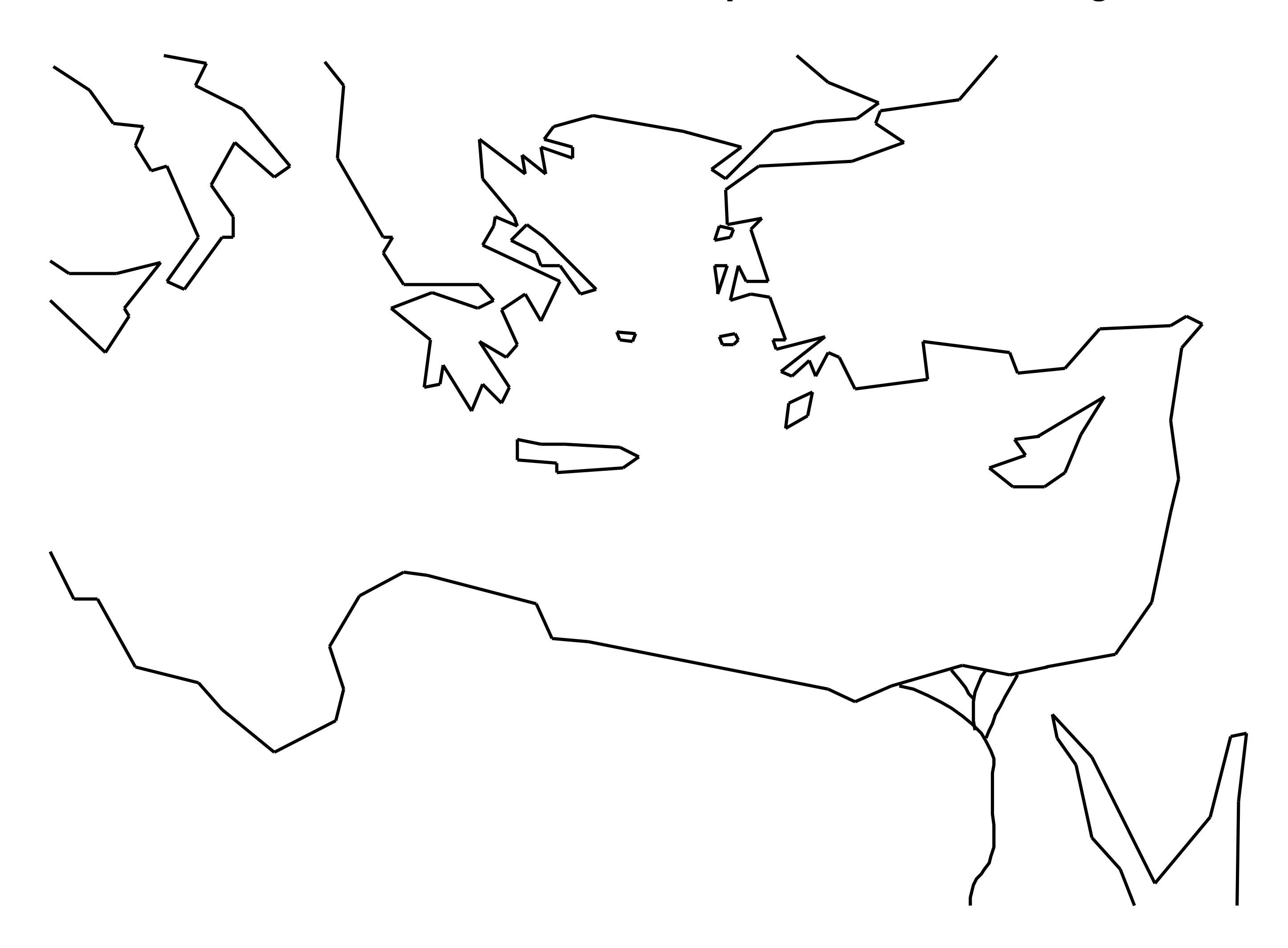
La recherche de l'harmonie du monde depuis l'Antiquité est la motivation fondamentale. Du XVII siècle au XX siècle *Isaac Newton, Albert Einstein*... poursuivent cette recherche. Ceci pourra être abordé ultérieurement en cours de physique.

CONSIGNES DE TRAVAIL

- Les réponses doivent être ***courtes*** et ***précises***.
- Vous devez utiliser les documents annexes lorsque cela est indiqué.
- Vous devez vous servir de dictionnaires (petit Larousse, petit Robert des noms propres et des noms communs) ainsi que de l'Encyclopédia Universalis : à l'article Astronomie I/ Histoire de l'astronomie. Ces ouvrages se trouvent au CDI. Vous pouvez utiliser d'autres encyclopédies, vous pouvez aussi travailler à la bibliothèque municipale de votre ville. Certains cours de mathématiques, de physique, vous seront très utiles. Vous pouvez aussi utiliser Internet.
- Vous ne devez ***jamais recopier les passages que vous ne comprenez pas, ni rendre des pages imprimées à partir d'Internet ou d'autres sources. Vous devez reformuler les informations que vous allez trouver pour répondre aux questions posées***.
- Vous devez réaliser ce travail de recherche dans ***l'ordre indiqué*** pour avoir une bonne compréhension de l'ensemble.
- Vous devez à la fin de votre travail citer toutes vos sources avec précision : auteur, titre de l'ouvrage, références dans les encyclopédies - tome, article - site sur Internet...
- C'est un travail personnel qui sera noté ***sur 30 points*** .
-

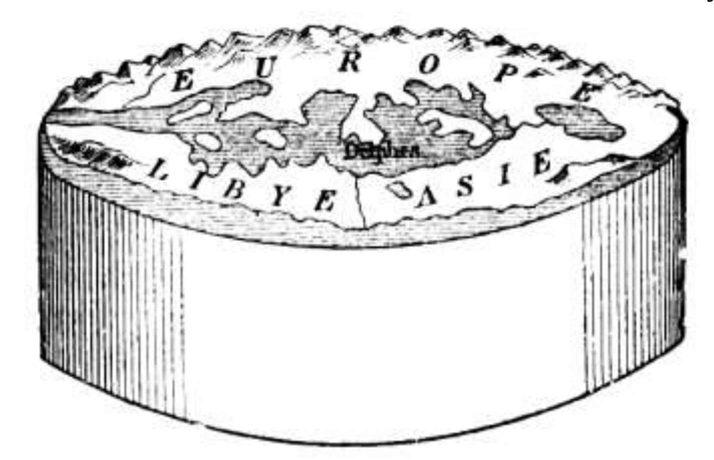
128

CARTE : Les centres scientifiques dans le monde grec



ANNEXE 1 : Le système d'*Anaximandre*

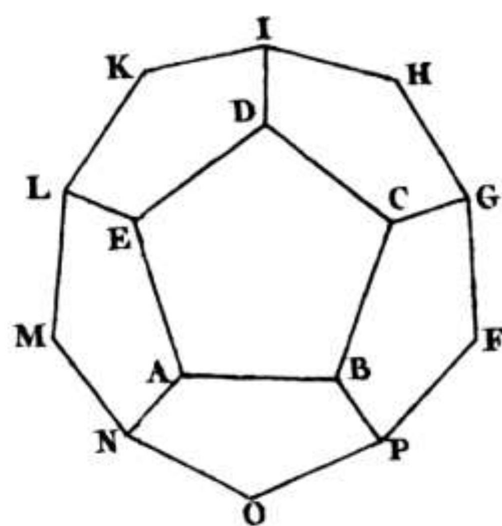
Selon *Anaximandre*, la Terre est un fût de colonne cylindrique, encerclé par l'air, puis par le feu, "*comme un arbre par son écorce"*.



La Terre est suspendue, immobile au centre de l'Univers, les divers corps célestes étant *"équilibrés"* tout autour par quelque règle invisible.
Ces corps célestes sont assimilés à des roues de feu, et leur lumière visible n'en constitue qu'une partie, décrite comme un tuyau, un tube à travers lequel jaillit le feu. Les éclipses et les phases de la Lune sont causées par l'ouverture ou la fermeture partielles de ces tuyaux.

ANNEXE 2 : Eléments et polyèdres

Au milieu du Ve siècle avant notre ère, *Empédocle* synthétise les propositions de ses prédécesseurs en proposant comme matériau originel l'ensemble des quatre éléments : terre-eau-air-feu. Dans sa *"Genèse des éléments"*, il décrit comment ces éléments incréés et incorruptibles s'agencent en combinaisons périssables pour former les corps situés sous l'orbite lunaire : *"Il n'y a pas de naissance pour aucune des choses mortelles ; il n'y a pas de fin par la mort funeste ; il y a seulement mélange, dissociation des éléments du mélange. Naissance n'est qu'un nom donné à ce fait par les hommes"*.
Platon reprend ces quatre éléments. Dans le *"Timée"*, il développe son projet de géométrisation de l'Univers. Le monde terrestre est bien moins harmonieux que le cosmos ; chacun des éléments qui le composent doit donc être représenté par une figure un peu moins symétrique, un peu moins parfaite que la sphère : un des solides platoniciens, que les géomètres modernes appellent *polyèdres réguliers*.
La terre est ainsi associée au *cube*, l'eau à l'*icosaèdre*, l'air à l'*octaèdre* et le feu au *tétraèdre*. C'est parce que le cube est la forme la plus difficile à mouvoir qu'il est associé à la terre, élément le plus pesant. L'icosaèdre, solide platonicien possédant le plus grand nombre de faces, formant une structure relativement fluide, est placé sous le signe de l'eau ; et ainsi de suite.
Ces quatre éléments corruptibles ne sauraient exister dans le ciel. Il existe toutefois un cinquième polyèdre régulier : le *dodécaèdre*. Chacune des douze faces de ce polyèdre est un *pentagone*, figure "magique" des pythagoriciens. *Platon* veut alors clore la représentation géométrique du monde, en imaginant une cinquième essence, que le Moyen Age nommera *"quintessence"*. Le dodécaèdre est en effet le polyèdre régulier qui se rapproche le plus d'une sphère, symbole de la perfection céleste.



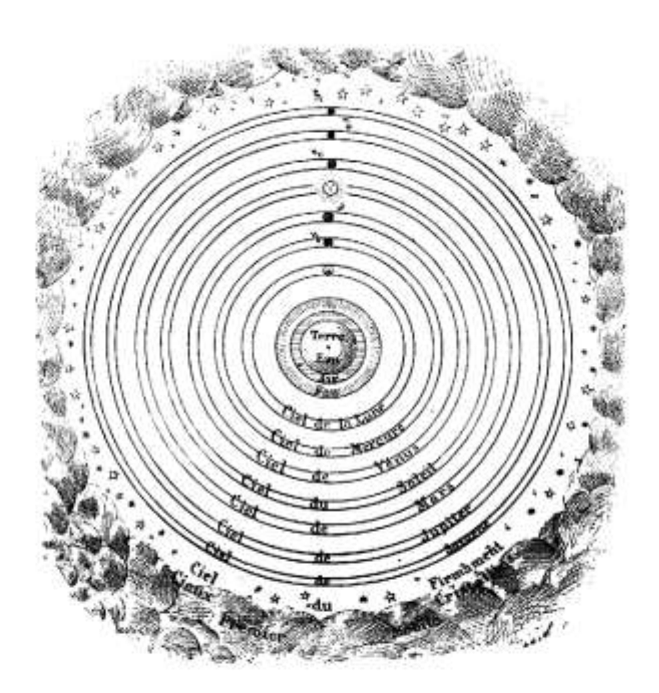
ANNEXE 3 : Extrait du *"Timée"* de *Platon*

"Celui qui constitua le monde [...] lui donna comme figure celle qui lui convenait et qui lui était apparentée.
Au vivant qui doit envelopper en lui même tous les vivants, la figure qui pouvait convenir, c'était celle où s'inscrivent toutes les autres figures. Aussi est-ce la figure d'une sphère, dont le centre est équidistant de tous les points de la périphérie, une figure circulaire, qu'il lui donna comme s'il travaillait sur un tour – figure qui entre toutes est la plus parfaite et la plus semblable à elle –même – convaincu qu'il y a mille fois plus de beauté dans le semblable que dans le dissemblable."

Platon, Timée.



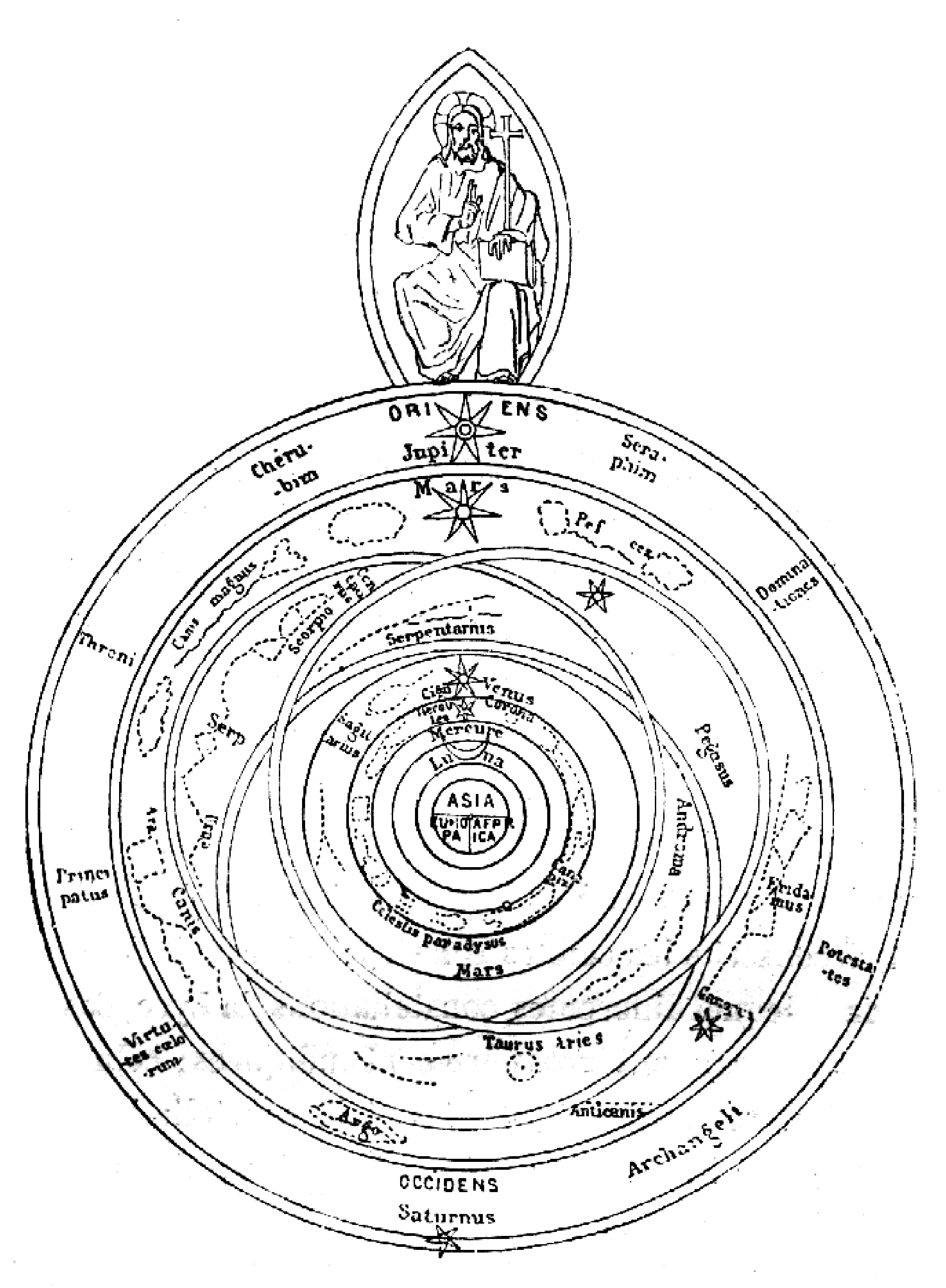
ANNEXE 4 : Les deux mondes d'*Aristote*



Aristote, plus encore que son maître *Platon*, s'attache à décrire rationnellement les phénomènes naturels. Il introduit une distinction fondamentale entre les mondes *sublunaire* et *supralunaire*. Le premier, englobant la région terrestre est le monde du changement et de la corruption : les êtres et les choses naissent, croissent, s'usent et meurent. Le second, comprenant les cieux et la région des astres, éternels et immuables, est le monde de la perfection.

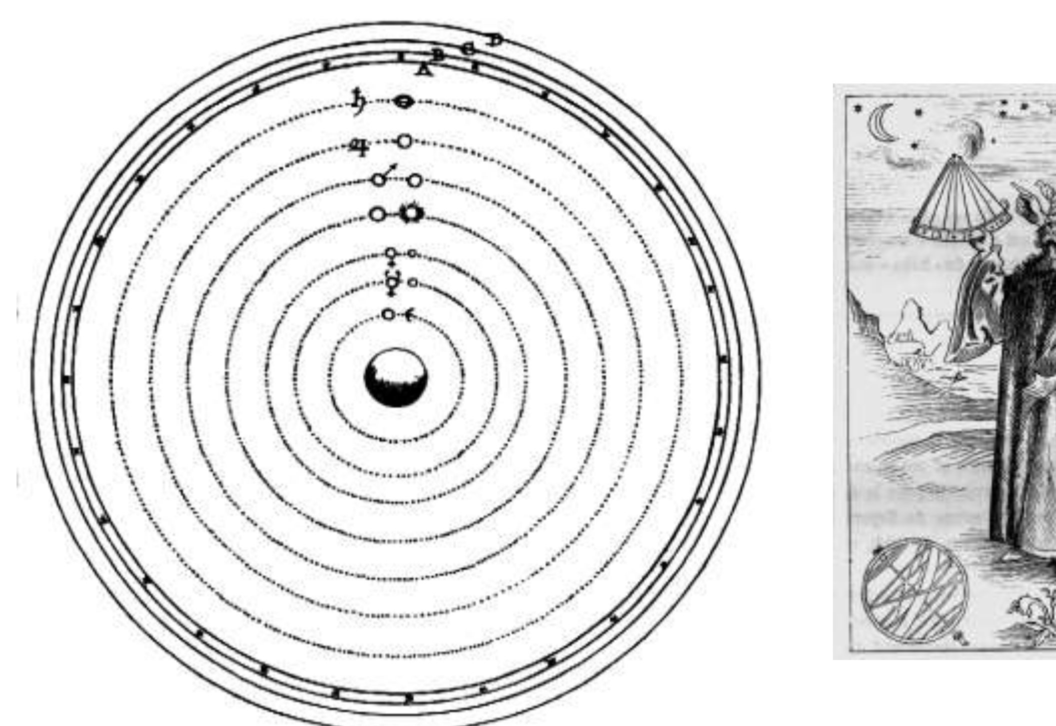
Ainsi, les Athéniens ont coupé le monde en deux parties, une "naturelle", la Terre, l'autre "divine", le ciel. Cette coupure va durer deux mille ans. En effet, les religions qui vont se succéder autour de la Méditerranée y trouveront leur compte. Le christianisme, en particulier, veillera pendant des siècles à ce que personne ne remette en cause l'idée que le ciel est de nature divine. Après des tentatives infructueuses au XIIe siècle, c'est seulement au XVIe siècle, avec *Galilée* en particulier, que se réveillera la soif de comprendre tout l'Univers...

ANNEXE 4 : Monde divin et monde naturel



Reproduction d'un système planétaire du moyen âge
Lambertus canonicus (Liber Floridus) XIIe siècle

ANNEXE 5 : Le système de *Ptolémée*

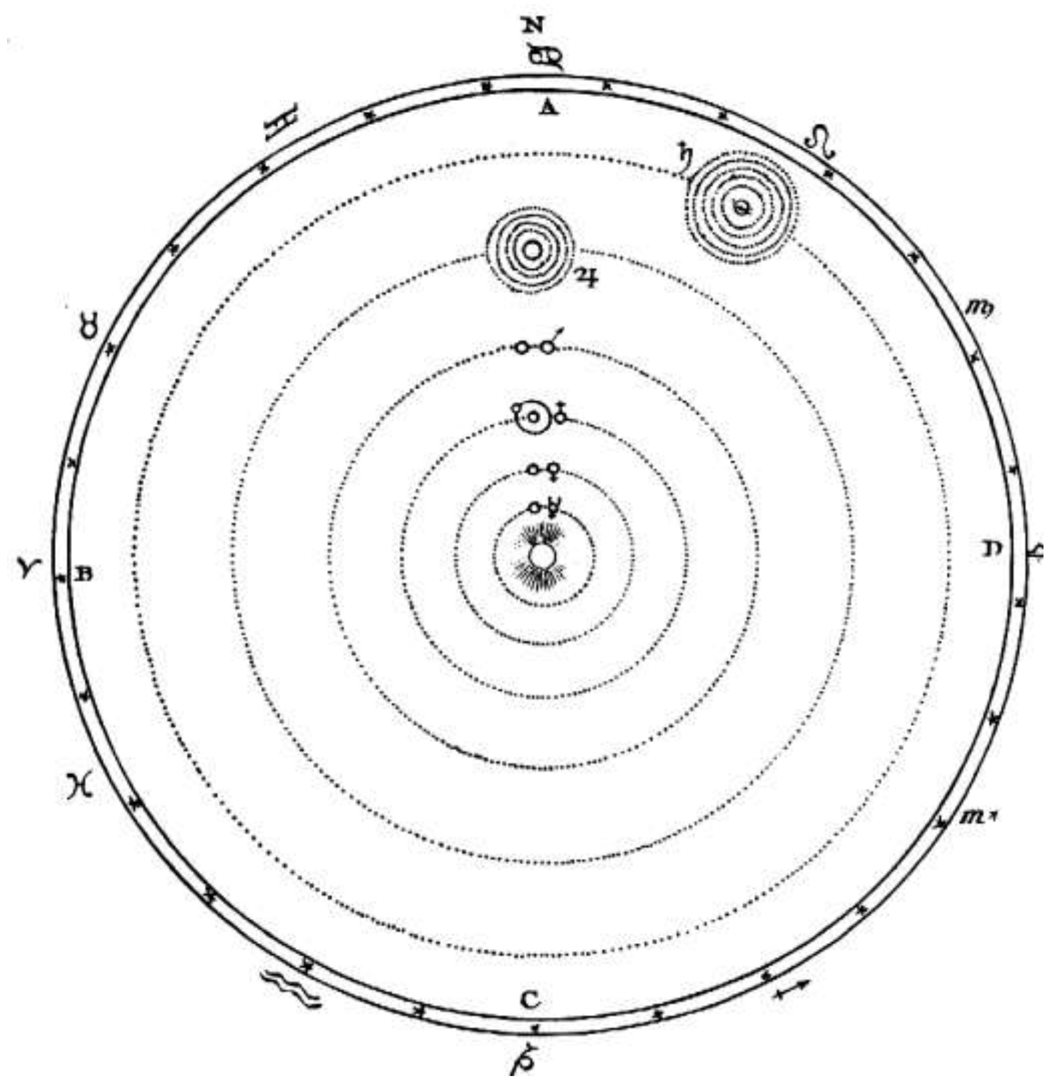




Représentation (simplifiée) du système de Ptolémée, dans l'Encyclopédie de Diderot et D'Alembert

Pour *Platon* et *Aristote*, et jusqu'à *Kepler*, les rouages du monde ne peuvent être imaginés que sphériques ou circulaires, seules formes géométriques admissibles pour représenter la perfection du ciel. Cette contrainte oblige à envisager des combinaisons très complexes pour "sauver les phénomènes", c'est à dire rendre compte des mouvements apparents des astres, tels qu'on les observe.
Or les cosmologies d'*Eudoxe* et d'*Aristote* ne décrivent pas correctement la complexité observée : les planètes tantôt accélèrent, tantôt ralentissent, et reviennent même parfois sur leurs pas. Surtout, elles n'expliquent pas les variations d'éclat des planètes, qui impliquent des variations de distance à la Terre.
Pour réconcilier la cosmologie aristotélicienne et les données astronomiques, *Claude Ptolémée*, au IIe siècle de notre ère, reprend dans sa *"Syntaxe mathématique"*, plus connue sous le nom d'*Almageste*, le schéma d'une Terre immobile et de corps célestes ne pouvant se mouvoir que selon des cercles, mais multiplie et déplace les mouvements circulaires, proposant de complexes et astucieuses compositions. Il explique ainsi avec succès, les différentes observations astronomiques.

ANNEXE 6 : Le système de *Copernic*



Représentation du système héliocentrique, dans l'Encyclopédie de Diderot et D'Alembert

En 1543 est publié le *"De revolutionibus orbium coelestium"* de *Copernic*, où celui-ci expose son système du monde : le Soleil est au centre, puis viennent les cercles de Mercure, Vénus, la Terre et la Lune ensemble, Mars, Jupiter, Saturne, et la sphère des étoiles fixes.

ANNEXE 7 : La *"nouvelle astronomie"*





Galileo Galilei, dit *Galilée*, mène à son terme la tâche commencée par *Tycho Brahé* et *Kepler*. Très tôt, il se révèle un fervent partisan du système héliocentrique de *Copernic*. Ayant appris en 1609 l'existence d'un instrument optique permettant de grossir ce que l'on regarde, *Galilée* s'empresse de le reproduire en l'améliorant, puis pointe cette lunette vers le ciel. Il fait état des résultats de ses observations dans *Le Messager céleste* : la Lune, constellée de cratères, est imparfaite comme la Terre ; son relief la rend "terreuse". Le soleil est couvert de taches. Les étoiles sont innombrables, en particulier dans la Voie lactée. Jupiter tourne autour du Soleil en entraînant ses satellites. Vénus a des phases. Finalement, tenant compte de l'étoile nouvelle de 1572, qui renverse le dogme de l'immuabilité des étoiles fixes, *Galilée* montre l'identité de nature entre les deux mondes sublunaire et supralunaire d'*Aristote*. Il établit l'universalité du monde et des lois qui le gouvernent, et fonde ainsi la physique.

En 1632, son *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde*, s'en prend avec virulence à la conception aristotélicienne du monde et aux développements géométriques de *Ptolémée*. Il affirme la validité du système copernicien : la Terre, une planète comme les autres, tourne autour du Soleil. Dans cet ouvrage, *Galilée* n'énonce plus d'hypothèses. Il affirme une réalité. Pour cette raison, le tribunal de l'Inquisition le condamne le 22 juin 1633. Malgré sa rétractation, ses idées se répandent. La rigueur qu'il apporte à l'étude de la chute des corps ouvre des perspectives scientifiques inédites.

Après *Copernic*, *Kepler* et *Galilée*, les systèmes du monde ne seront plus jamais les mêmes. C'en est fini des sphères ou des cercles, ainsi que de l'assimilation du ciel de la religion au ciel physique. *"En réalité, l'Ecriture ne se préoccupe pas des détails du monde physique"* et *"il existe deux domaines du savoir"*, reconnaîtra le pape *Jean-Paul II* à propos de l'affaire *Galilée*. Le savant italien lui-même l'avait compris, déclarant que *"l'intention du Saint-Esprit est de nous enseigner comment on va au ciel et non comment va le ciel."*

Compte-rendu du travail de recherche : "FIGURES DU CIEL ET DE LA TERRE"

Sources utilisées :

- Le livre catalogue de l'exposition " *Figures du ciel* " à la Bibliothèque Nationale de France. Auteurs Marc Lachièze-Rey et Jean-Pierre Luminet.
- " *Comment la terre devint ronde ?* " Jean Paul Maury, Collection Découverte Gallimard.

Buts pédagogiques :

Chaque élève rend un travail personnel, il est en autonomie. C'est à lui d'aller chercher les connaissances dans les livres, encyclopédies, au CDI ou sur Internet. Il doit trier, parmi toutes les connaissances qui lui sont proposées, celles qui correspondent à la question ; ce travail, ce choix à effectuer en fonction de critères précis est un des objectifs de la classe de seconde. Il devra aussi reformuler les phrases pour vraiment répondre au sujet posé, ainsi il s'appropriera ces nouvelles connaissances.

Mettre en évidence le déplacement des centres culturels dans le bassin méditerranéen, dans l'antiquité. Ce travail intéressant en lui même sera l'occasion pour l'élève d'utiliser le savoir faire cartographique vu en cours de géographie. De cette façon l'élève se rend compte qu'il possède des outils - ici le langage cartographique - et qu'il est capable de les utiliser en dehors d'un cours traditionnel de géographie.

Se rendre compte de la transmission du savoir de l'antiquité au monde occidental, ce qui permettra à la Renaissance de s'épanouir. Cela sera réinvesti au cours de l'année dans les thèmes concernant les trois cultures de la Méditerranée au XII siècle, et de la Renaissance en histoire. Il paraît important que nos élèves prennent conscience qu'il y a une histoire des savoirs, que leur transmission est tout sauf simple : des inventions géniales succèdent à des siècles d'erreurs. Les échanges culturels à travers l'espace et le temps ainsi que la remise en cause de certaines connaissances ont permis à notre pensée de se former, d'évoluer, en se heurtant parfois violemment à des résistances.

A partir de la définition de cosmos (recherche d'un ordre dans la création par opposition au chaos, vide confus existant avant la création) les élèves découvriront chez tous les savants de l'antiquité la volonté de déceler une harmonie, un ordre caché dans l'essence des phénomènes. Cette volonté se traduira chez Galilée par l'unification de concepts apparemment distincts telle la physique terrestre et la physique céleste, chez Newton, chute des corps et mouvement des astres, espace et temps chez Einstein, etc. Ces derniers aspects seront abordés ultérieurement par le professeur de physique. Il s'agit d'un travail pluridisciplinaire : toute "l'histoire de la physique" poursuit cette quête d'une théorie complètement unifiée, à moins que cette harmonie du monde soit une construction de l'esprit. Les élèves percevront sans doute que la " vérité scientifique " se construit et qu'un jour à leur tour ils pourront en être les acteurs.

Le but ultime de ce travail étant de décloisonner les savoirs, d'ouvrir l'esprit des élèves et d'aiguiser leur curiosité. En ce sens l'astronomie par son caractère éminemment pluridisciplinaire (mathématiques, histoire, physique, mécanique, chimie, philosophie..) permet de montrer aux élèves que la connaissance n'est pas coupée en tranches. Ce décloisonnement du savoir est pour nous enseignants le moyen de former des "têtes bien faites" plutôt que "des têtes bien pleines".

Préparation du contrôle portant sur le dossier de recherche
"FIGURES DU CIEL ET DE LA TERRE"

Cette préparation vous permettra de mieux comprendre et de mieux réussir votre devoir de physique et votre devoir de français.

Je vous rappelle que tout le travail que nous effectuons avec vous autour de l'astrolabe a pour objectif, entre autre, de vous permettre de réaliser que les connaissances ne sont pas cloisonnées ; vous devez être capable de réinvestir des connaissances vues dans une matière dans d'autre disciplines.

Voici les points précis de votre dossier que vous devez parfaitement savoir :

- Le siècle où ont vécu Thalés de Milet, Pythagore de Samos, Platon, Aristote, Eratosthène, Claude Ptolémée, Copernic, Képler, Galilée, Newton.
- Quelles sont les correspondances que Platon établit entre les cinq polyèdres réguliers et les éléments ? Quel projet poursuit-il ?
- D'après Aristote comment l'univers est-il organisé ?
- Quelle distinction fondamentale fait-il entre les deux mondes ? Pourquoi cette coupure sera-t-elle admise par le christianisme ? Qui la remettra en cause ?
- Qu'est - ce - que le système de Ptolémée ?
- Qu'est - ce - que le système de Copernic ?
- En quoi les observations de Galilée remettent - elles en cause la vision aristotélicienne du monde terrestre et céleste ?
- Quelle sera l'attitude de l' Eglise vis à vis de Galilée ? Qu'est - ce - qu'il devra déclarer ?

Vous devez préparer vos réponses à partir de votre dossier, vous pouvez aussi demander à vos camarades pour les questions que vous avez moins bien réussies.

Contrôle sur l'histoire de l'astronomie – Sujet A

Vous répondrez aux questions suivantes en indiquant juste le numéro des questions

1. Vous indiquerez le siècle où ont vécu les personnages suivants :

- *Thalès de Milet*
- *Platon*
- *Eratosthène*
- *Copernic*
- *Galilée*

2. Quelles correspondances, Platon établit- il entre les cinq polyèdres réguliers et les éléments ? Quel projet poursuit-il ?

3. Qu'est - ce - que le système de Ptolémée ? Qu'est - ce - que le système de Copernic ?

4. En quoi les observations de Galilée remettent - elles en cause la vision aristotélicienne du monde terrestre et céleste ?

5. Quelle sera l'attitude de l' Eglise vis à vis de Galilée ? Qu'est - ce - qu'il devra déclarer ?

Contrôle sur l'histoire de l'astronomie – Sujet B

Vous répondrez aux questions suivantes en indiquant juste le numéro des questions

1. Vous indiquerez le siècle où ont vécu les personnages suivants :

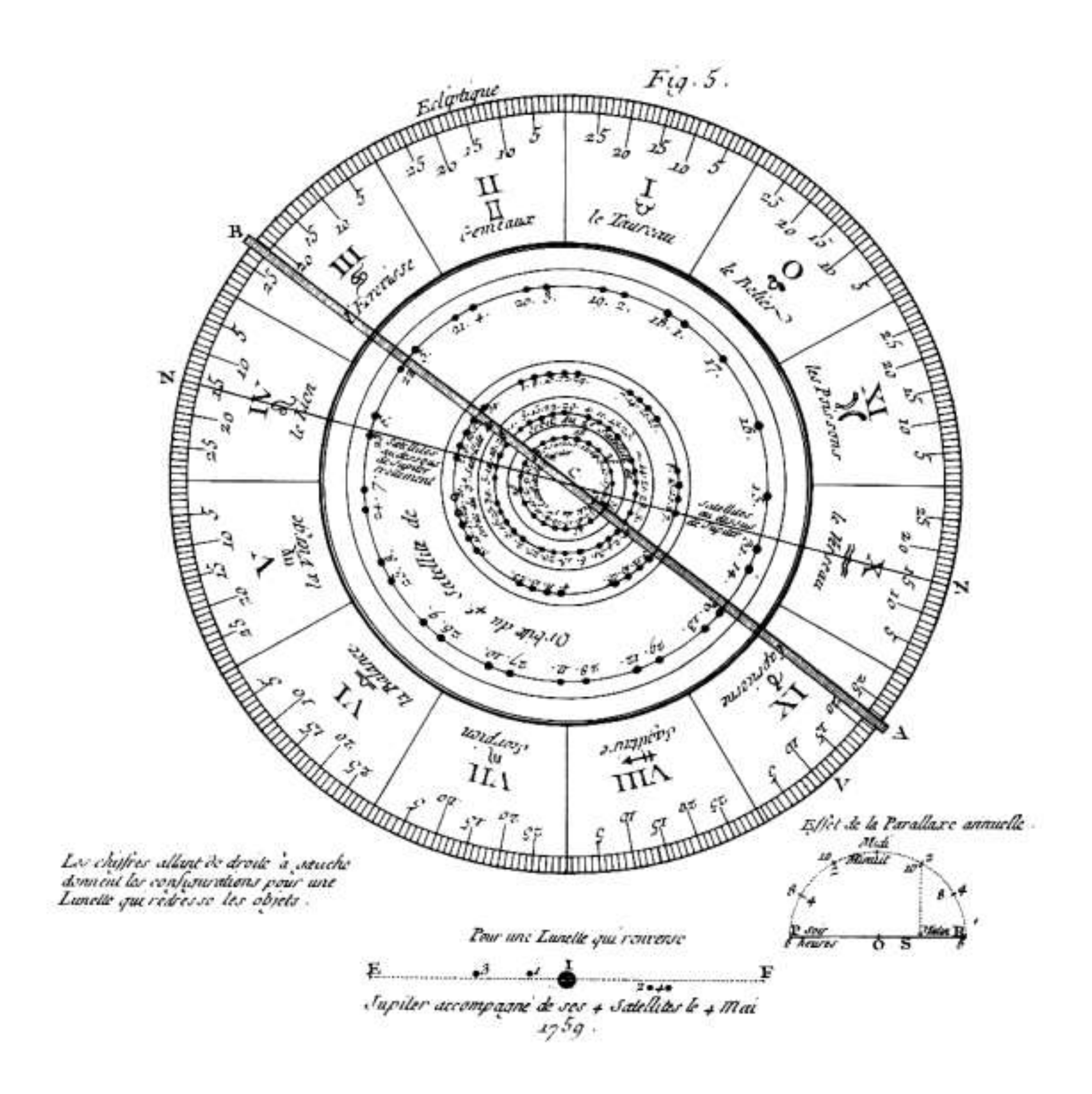
- *Pythagore de Samos*
- *Aristote*
- *Claude Ptolémée*
- *Képler*
- *Newton*

2. D'après Aristote comment l'univers est-il organisé ?

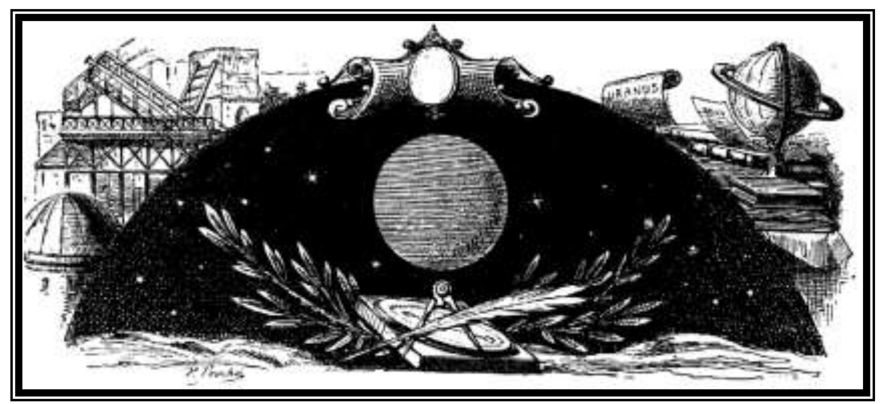
3. Quelle distinction fondamentale fait-il entre les deux mondes ? Pourquoi cette coupure sera-t-elle admise par le christianisme ?

4. En quoi les observations de Galilée remettent - elles en cause la vision aristotélicienne du monde terrestre et céleste ?

5. Quelle sera l'attitude de l' Eglise vis à vis de Galilée ? Qu'est - ce - qu'il devra déclarer ?



Observation des satellites de Jupiter
Encyclopédie Diderot D'Alembert



PRINCIPES PHYSIQUES DE REPRESENTATION DE L'UNIVERS

Travail de recherche préparatoire

A - EVOLUTION DES IDEES DE NEWTON A NOS JOURS

I - Où en est la pensée sur le mouvement des planètes en 1687 ?

Les trois lois empiriques de ***Johannes Kepler*** restent sans démonstration.

- Enoncer les trois lois de ***Kepler***.
- Que signifie, ici, le mot *empirique* ?

Galilée affirme que la Terre n'est pas le centre de l'univers...

- Quelles sont les observations qui permettent à ***Galilée*** de penser que la Terre n'est pas le centre de l'univers ?

... et découvre le principe d'inertie.

- Qu'appelle-t-on le *principe d'inertie* ?
- Pourquoi est-ce une découverte très importante ? Quel est le changement avec les idées que l'on se faisait, avant Galilée, du mouvement des objets ?

II - Théorie de la gravitation universelle (Newton 1687).

- Qui est ***Isaac Newton*** ?

Newton reprend le principe d'inertie en introduisant la notion de *force* : la seule façon de changer le mouvement d'un corps est d'utiliser une force.
A partir de ce principe, on peut écrire que :

Un corps isolé, c'est-à-dire soumis à aucune force, reste immobile si celui-ci était immobile.

Un corps isolé se déplaçant en ligne droite à vitesse constante conserve ce mouvement tant qu'aucune force n'agit sur lui.



- En admettant que la direction d'un corps change à chaque instant pour un mouvement circulaire et d'après le *principe d'inertie*, que pouvez-vous en déduire sur la cause d'un mouvement circulaire ?

En 1687, ***Newton*** publie un important ouvrage dans lequel il énonce la loi de la gravitation universelle. Cette théorie permet d'expliquer le mouvement de la Lune, l'existence des marées, la formation des planètes et des étoiles, la chute d'un objet (une pomme par exemple),...

- Enoncer la loi de la *gravitation universelle*.
- Expliquer le terme « *universelle* ».
- Que pouvez-vous dire de la valeur de la force de gravitation lorsque la distance entre deux corps augmente ? (Utiliser la formule en annexe).
- Chercher en quelle unité s'exprime une force.
- Calculer la force exercée par le Soleil sur la Terre (les données se trouvent en annexe) puis calculer la force exercée par une personne de 70 kg sur une autre personne de même masse et distante de 1 mètre (voir annexe).



En 1845, ***Le Verrier*** publie un texte qui permet, l'année suivante, de découvrir une nouvelle planète dans le système solaire.

- Qui est ***Le Verrier*** ?
- Quelle est cette planète ?
- Qui observe pour la première fois cette nouvelle planète ?
  Pourquoi n'est-ce pas ***Le Verrier*** ?

III - Les remises en cause (A partir de la fin du 19ième siècle).

- Qui est ***Albert Einstein*** ?

Afin d'expliquer des résultats d'expériences ou d'observations que les lois de ***Newton*** ne peuvent expliquer, ***Einstein*** propose au monde une nouvelle théorie.

- Comment s'appelle cette théorie ?
- En quelle année a-t-elle été proposée ?
- Pendant la seconde guerre mondiale, ***Einstein*** a participé à un projet très secret. Lequel ?

A peu près au même moment, on montre que l'atome d'hydrogène ne peut correspondre à un système planétaire et que ni la théorie de ***Newton***, ni celle d'***Einstein***, ne permet d'expliquer le comportement des atomes. C'est la naissance de la *théorie quantique*.

- Chercher qui est ***Niels Bohr***.

La recherche actuelle tente d'unifier les théories d'***Einstein*** et de ***Bohr*** en en produisant une nouvelle. Cette théorie devra permettre de comprendre des phénomènes naturels ou des résultats d'expériences inexpliqués pour le moment. Elle devra aussi permettre d'expliquer la formation de l'univers. La science évolue en permanence vers une unification des lois, vers une « *théorie du tout*».

La volonté qui semble se détacher est celle qui permet par une grande théorie scientifique d'expliquer la « *création* » et l' « *harmonie* » du Monde.

B - LE POINT SUR QUELQUES NOTIONS D'ASTRONOMIE

I - Les distances

- Qu'est-ce qu'une *année-lumière* (a.l.) ?
- Qu'est-ce qu'une *unité astronomique* (u.a.) ?
- Qu'est-ce qu'un *parsec* ?
- Quel est le diamètre de la Terre ?
- Quel est le diamètre du système solaire ?
- Quel est le diamètre de la Galaxie ?

Si l'atome d'hydrogène de diamètre 10^{-10} m était assimilé à la Terre et en conservant les proportions, quel serait le diamètre du système solaire, puis de la Galaxie ?

II - Le système solaire.

- Quelle est l'origine du mot « *planète* » ?
- Citer les planètes du système solaire par ordre croissant de leur distance au Soleil.
- Pourquoi Mercure, Vénus, Terre et Mars sont-elles appelées *planètes telluriques* ?
- Qu'est-ce qu'une *étoile filante* ?
- Qu'est-ce qu'une *comète* ?

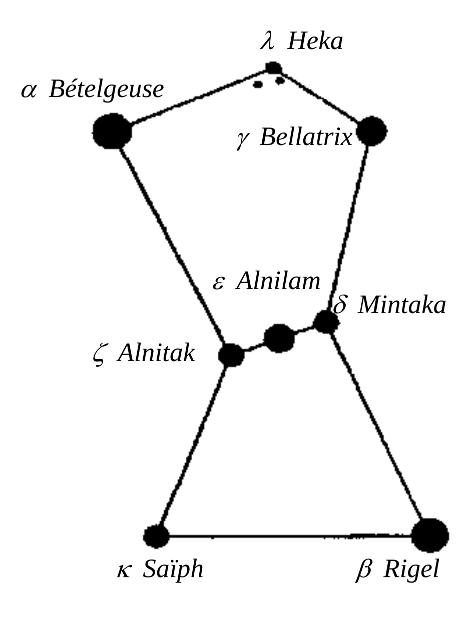
C - OBSERVATION

La constellation d'***Orion*** est une constellation d'hiver.

- Que signifie le mot *constellation* ?
- Pourquoi parle-t-on de constellation d'hiver ?

- Il existe des constellations d'été. Citer un exemple.
- Existe-t-il des constellations visible toute l'année ? Si oui, citer un exemple.

Voici une représentation d'***Orion***. Cette constellation est assez facile à repérer dans le ciel grâce aux trois étoiles alignées assez proches (*Alnitak*, *Alnilam* et *Mintaka*).



- Repérer cette constellation dans le ciel pendant vos vacances.
- Dans quelle direction ce trouve-t-elle début janvier vers 21 h00 ? Vous devrez vous aider d'une boussole ou si vous n'en avez pas d'un plan de l'endroit où vous vous trouvez.
- Mesurer, à ce moment, à quelle hauteur par rapport à l'horizon se situe *Bételgeuse*, l'étoile la plus lumineuse de cette constellation. Vous pourrez vous servir pour cela de votre astrolabe en bristol à partir de la rentrée de janvier.
- Ne pas oublier d'indiquer la date et l'heure de l'observation.

Je vous rappelle aussi que *Jupiter* est le point le plus lumineux en ce moment dans le ciel le soir. Vous pouvez l'observer très facilement avec une paire de jumelles et ainsi faire les même observations que Galilée il y a plus de trois siècles.

ANNEXE

❖ La formule donnant la valeur de la force de gravitation est :

$$F = G \times \frac{M_A \times M_B}{d^2}$$

où M_A et M_B sont respectivement les masses en kilogramme des corps A et B,
G est une constante universelle : $G = 6{,}67.10^{-11}$ dans le système international,
d est la distance en mètre séparant les centre des deux corps A et B.

❖ Quelques données : La masse de la Terre $M_T = 6.10^{24}$ kg.
La masse du Soleil $M_S = 2.10^{30}$ kg.
La distance Terre-Soleil $d_{TS} = 150.10^6$ km.



L'EVOLUTION DES IDEES SUR L'ASTRONOMIE
DE NEWTON A NOS JOURS

Introduction

De tous temps, on a observé le mouvement du Soleil, des étoiles et des planètes. La description de tels mouvements a évolué au cours des époques. Pendant très longtemps le Soleil, la Lune et les planètes se déplaçaient par rapport à la Terre supposée immobile et au centre du Monde. Mais ce système officialisé par l'église pose des problèmes. En effet, il ne permet pas d'expliquer toutes les observations qu'effectuent de nombreux savants. Il faut attendre le 16ème siècle, avec *Copernic* et surtout *Galilée*, pour voir enfin ces idées évoluer.

Dans un premier temps, l'évolution des idées sur la cosmologie évolue avec les découvertes sur le mouvement des objets. *Aristote*, en étudiant le mouvement rectiligne d'un objet, pense que tout mouvement est du à une action qui perdure tant que le déplacement continue. *Galilée*, puis *Newton*, en mettant au point une nouvelle théorie sur les mouvements, vont radicalement changer la perception de l'univers.

I - Où en est la pensée sur le mouvement des planètes en 1687.

Il est indispensable de placer dans un contexte historique les travaux de *Newton*. Les élèves peuvent ainsi se rendre compte d'une progression des idées et cela les aide à placer les découvertes les unes par rapport aux autres.

Les apports des prédécesseurs de *Newton* sont très importants :

- *Copernic* et son hypothèse où le Soleil est au centre du Monde.
- Le travail empirique de *Kepler* : d'après les tables de *Tycho Brahé*, il a exposé trois lois permettant de décrire le mouvement des planètes. La première loi précise que les planètes suivent des orbites elliptiques, ce qui est un argument de plus contre la vision du monde de *Ptolémée* où tout est selon des cercles. Les deux suivantes permettent de décrire plus précisément ce mouvement.
- Les expériences ***scientifiques*** de *Galilée* : Ses observations à l'aide d'une lunette lui permettent d'imposer un modèle où la Terre et les autres planètes tournent autour du Soleil. Les phases de Vénus , la surface de la Lune et les satellites de Jupiter qu'il voit tourner autour de la planète géante sont des preuves que tout ne tourne pas autour de la Terre. Le système d'*Aristote* et de *Ptolémée* s'effondre.

  Ses expériences systématiques sur la chute des corps l'amène à énoncer le principe d'inertie : « si quelque chose se déplace sans rien toucher et sans être perturbé, il continuera perpétuellement en ligne droite à vitesse constante. »

Là aussi, l'idée est nouvelle : un objet ayant reçu une impulsion et sur lequel aucune force n'agit par la suite, se déplace en ligne droite, à vitesse constante.
Galilée révolutionne ses contemporains : *Aristote* s'est trompé !

A partir de ce moment, tout un système vieux de près de deux mille ans s'écroule.

Galilée décrit comment les objets chutent.

II - Théorie de la gravitation universelle (Newton 1687)

1/ L'idée géniale

Pour amener les élèves à comprendre le raisonnement de *Newton*, on peut leur faire observer, décrire et enfin comparer le mouvement de chute libre d'un objet au voisinage du sol terrestre (expérience simple à réaliser) et le mouvement de rotation de la Lune autour de la Terre (utilisation de logiciel d'astronomie avec visualisation des vecteurs force et vitesse).

Newton reprend le principe d'inertie en introduisant le mot ***force***. Ainsi, la seule manière de changer le mouvement d'un corps est d'utiliser une force :
Si le corps change de vitesse c'est qu'une force a été appliquée ***dans la direction*** du mouvement.
Si le mouvement change de direction, une force a été appliquée ***latéralement***.
Un objet, une pomme par exemple, en tombant, va voir sa vitesse augmenter à chaque instant : le mouvement est accéléré. Une force s'applique donc sur cet objet, elle est dirigée dans la direction du mouvement c'est à dire vers le centre de la Terre. Cette force s'appelle le ***poids***.
La Lune tourne autour de la Terre. Pour dévier la Lune d'un mouvement rectiligne, il faut lui appliquer une force latéralement. Ce mouvement que l'on peut considérer comme circulaire est créé par une force qui est, en permanence, dirigée vers le centre de la Terre.

La question que s'est posé *Newton* est : est-ce la même force qui fait tomber la pomme et tourner la Lune ? En effet, dans les deux cas, une force dirigée vers le centre de la Terre semble être responsable du mouvement.

2/ L'énoncé de la théorie

Pour démontrer que la même force est responsable de ces deux phénomènes, *Newton* a cherché une relation mathématique capable d'être appliquée dans ces deux cas. Pour cela il faut analyser chaque situation.
Un objet, proche de la surface terrestre, qui chute va descendre de 5 mètres environ la première seconde quelque soit sa vitesse horizontale initiale. (voir en annexe fig.2)
La Lune s'éloigne, chaque seconde, d'environ 1,3 millimètre par rapport à une trajectoire rectiligne.

Le rapport des « hauteurs » de chute dans les deux cas nous donne $\frac{5}{1{,}3.10^{-3}} \approx 3500$. Ce résultat est assez proche de 3600 qui est le carré de 60.
Autrement dit la force qui fait dévier la Lune est 3600 fois plus faible que la force qui fait chuter un objet sur Terre. Comme la Lune est 60 fois plus loin du centre de la Terre qu'un objet qui se trouve à la surface terrestre, *Newton* aboutit à une loi inversement proportionnelle au carré des distances.
Ainsi on obtient, dans le cas de l'interaction entre la Terre et la Lune :

$F = G \times \frac{M_T \times M_L}{R^2_{TL}}$, où G est la constante de gravitation universelle ; M_T est la masse de la Terre ; M_L la masses de la Lune et R_{TL} est la distance entre le centre de la Terre et le centre de la Lune.

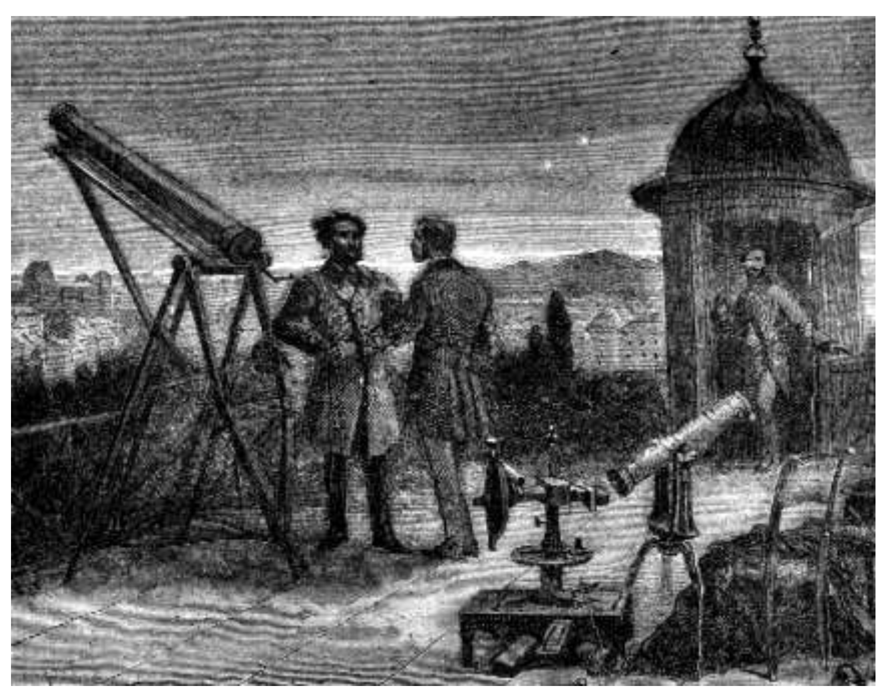
Newton montre pourquoi les objets chutent.

3/ Les conséquences.

L'application de la théorie de la gravitation permet de relier deux mondes totalement dissociés jusqu'à ce moment. Il n'y a plus avec *Newton*, d'un coté, une étude des mouvements sur Terre et, d'un autre coté, une étude des mouvements des planètes : Ces deux grands domaines sont ***unifiés***.

4/ Les heures de gloire de la théorie de Newton (18ème et 19ème siècle)

La mécanique classique se développe de manière considérable tout au long du 18ème et 19ème siècle. On imaginait même que tous les phénomènes naturelles pouvaient être décrits par cette théorie. Si on connaît toutes les propriétés d'un système à un instant donné, il devient possible d'en déduire son état futur. ***C'est le déterminisme***.



Le Verrier utilise la loi de gravitation universelle pour expliquer les anomalies dans la trajectoire d'Uranus. Le 31 août 1845, il publie « *sur la planète qui produit les anomalies observées dans le mouvement d'Uranus*...». Il y détermine la masse et la position de cette nouvelle planète. Le 18 septembre 1846, *Galle* découvre Neptune à l'emplacement où l'avait prévu *Le Verrier*. C'est un triomphe pour la mécanique newtonienne !

5/ Les problèmes apparaissent ! (fin 19ème – début 20ème siècle)

La trajectoire de Mercure étant légèrement différente de celle prévue par la théorie de *Newton*, il faut rechercher le responsable de cette perturbation : une nouvelle planète, entre le Soleil et Mercure ? Cette recherche reste vaine : Mercure échappe à la théorie de la gravitation universelle pour quelques secondes d'arc.



Dans les atomes, les électrons ne tournent pas autour du noyau comme les planètes tournent autour du Soleil. La force qui relie ces particules ne peut être la force de gravitation universelle.

Newton décrit des forces pouvant s'appliquer de manière instantanée sur des objets très éloignés les uns des autres. Qui est le messager capable de traverser instantanément plusieurs millions de kilomètres ? *Römer* a montré quelques années avant la publication de la théorie de *Newton*, que la vitesse de la lumière n'est pas infinie. Elle n'est donc pas ce messager. Cette question aussi reste sans réponse mais de la même manière que pour *Ptolémée* avant *Copernic*, on n'ose pas remettre en cause la Théorie de *Newton*. Cela va se faire par petite touche avant la révolution provoquée par *Albert Einstein*.

III/ Le temps des remises en cause ?

1/ La théorie de la relativité générale (Einstein 1913)

Pour certains domaines, la théorie de la gravitation universelle n'est donc plus applicable. Dans le cas de masses ou de vitesses très importantes, ou encore pour les atomes et la description de la matière, il faut effectuer un changement radical dans la vision et la description de l'univers.

En 1905, puis 1913, *Einstein* propose une nouvelle interprétation de la gravitation. Pour *Newton*, tout objet est défini comme un point matériel situé dans un espace absolu et dans un temps absolu. L'espace est, pour lui, euclidien, uniforme et infini ; le temps coule de manière linéaire et infini. *Einstein* n'impose pas un espace et un temps absolu. Les objets se déplacent dans un univers à quatre dimensions (les trois dimensions classiques de l'espace + une dimension de temps) qui peut être déformé par des masses importantes. ***Cette déformation***, (on parle de courbure de l'espace-temps) ***est responsable de la gravitation***. Le Soleil crée une courbure de l'espace-temps, cette déformation est telle que la Terre en est déviée de sa trajectoire rectiligne et tourne autour du Soleil. De même, la Terre courbe l'espace et la Lune est ainsi « piégée » par cette déformation locale de l'espace-temps. Cette théorie ne fait plus appel à la notion de force. Si la Lune tourne autour de la Terre, c'est parce que c'est, pour elle, le seul chemin possible.

En fait, tout se passe comme si *Einstein* généralisait la théorie de *Newton* pour les vitesses et les masses importantes. La théorie de la relativité admet celle de *Newton* comme un cas particulier. Les deux théories permettent de décrire des situations physiques conformes à la réalité, il suffit d'utiliser la théorie la plus précise pour le cas que l'on veut étudier.

Chaque année, des expériences ou des découvertes cosmologiques confirment les idées novatrices d'*Einstein* : la relativité est toujours d'actualité.

2/ La théorie quantique (1911 Bohr, 1920 Schrödinger)

Et pendant ce temps, que ce passe-t-il au niveau atomique ?
Les travaux commencent par l'étude de l'atome d'hydrogène : le plus simple de la classification périodique. La première hypothèse, nous l'avons vu, est que l'atome d'hydrogène est un système planétaire à lui tout seul. L'électron « tourne autour du noyau comme la Terre tourne autour du Soleil ». Cette hypothèse ne tient pas, l'électron finirait sa course sur le noyau très rapidement, et ce n'est pas le cas, l'atome d'hydrogène est relativement stable. La théorie de la relativité ne peut, elle non plus, expliquer les propriétés des atomes : les masses sont si faibles que la courbure de l'espace temps n'est pas suffisante pour que les électrons restent liés au noyau.

Quel type d'objets sont les particules ?

Une théorie permet d'expliquer les propriétés des atomes, c'est la théorie quantique. Elle précise qu'une particule se comporte soit comme une onde, soit comme un corpuscule. Elle bouleverse complètement les idées précédentes. En effet, contrairement au déterminisme du siècle précédent, elle introduit une dose de hasard et d'imprévisible en science.
Malgré les grandes réussites de la mécanique quantique, *Einstein* ne l'admet pas : « *Dieu ne joue pas au dés* ! ». Et pourtant la physique quantique a un bel avenir devant elle. Elle rend parfaitement compte du comportement des atomes et de la lumière qu'ils peuvent émettre, et est acceptée par tous de nos jours.
Cependant la mécanique quantique ne s'applique qu'aux particules et le passage à une échelle plus grande est, pour le moment, impossible. Pourquoi cette dose d'imprévisibilité au niveau atomique disparaît-elle lorsque l'on passe à un niveau de grandeur supérieure (on parle de niveau macroscopique) ?

3/ La théorie du 'Tout'

La recherche actuelle cherche à faire le lien entre la mécanique quantique et la mécanique relativiste. C'est à dire qu'elle essaye de relier l'univers des atomes et celui des galaxies. L'unification de ces deux grandes théories permettra peut être d'expliquer les grandes questions actuelles sur l'univers : Qu'est-ce que le *Big-Bang* ? Pourquoi y a-t-il de la matière plutôt que rien ? Pourquoi les galaxies se sont-elles formées ?...
De nombreuses théories sont en construction (théorie des cordes, ..) mais pour le moment aucune ne satisfait le titre de théorie du « Tout », c'est à dire la théorie qui expliquerait complètement la nature, de l'état de particule à celui d'amas de galaxies.

IV/ Conclusions

La théorie de la gravitation universelle a permis de lier les mouvements de chute des corps et les révolutions des planètes. La relativité permet de lier ces deux mouvements à d'autres phénomènes grâce à une nouvelle vision de l'espace. La mécanique quantique permet d'expliquer le comportement des atomes et des particules. Dans ces trois exemples, des scientifiques ont produits des théories permettant d'expliquer des phénomènes naturels. L'unification de ces théories est encore loin d'aboutir, mais, comme au 16ème siècle et même bien avant, la volonté est de pouvoir expliquer par une théorie, l' « harmonie du Monde ». Pour cela, on attend celui qui saura apporter un autre regard, une autre vision de la cosmologie.

ANNEXE (Comment une force peut-elle faire tourner la lune ?)

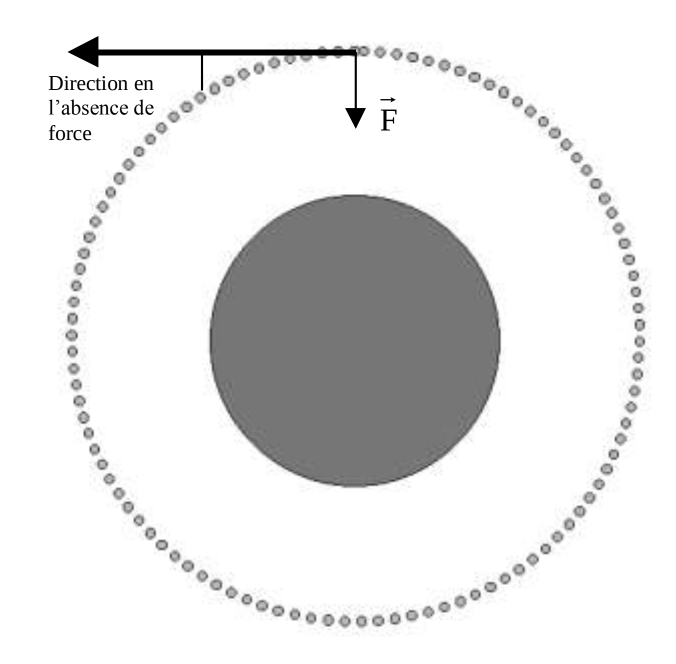


Figure 1

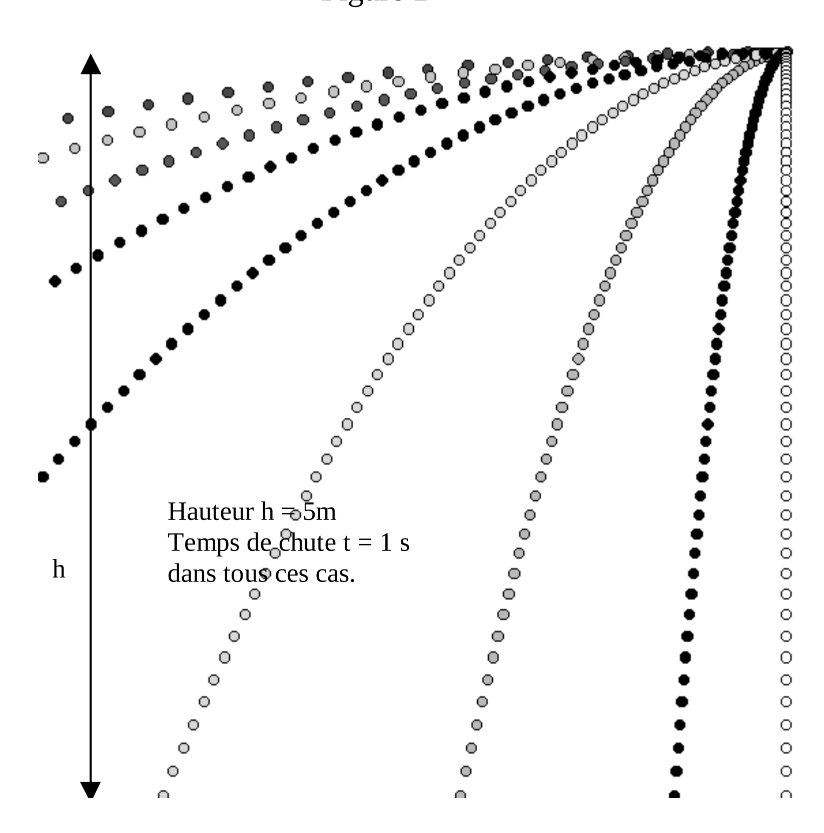
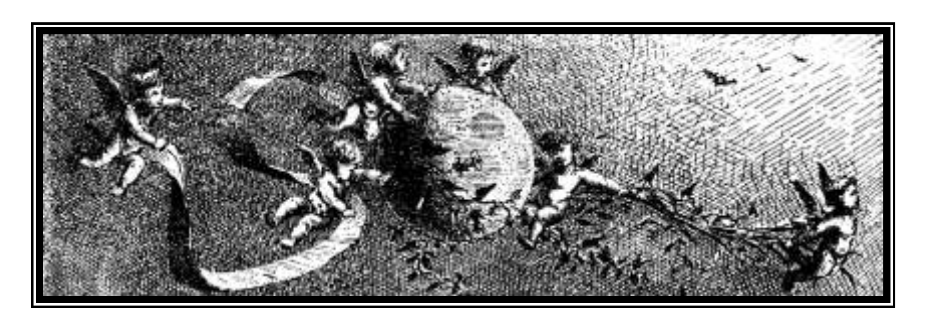


Figure 2



COMMENT UNE FORCE PEUT-ELLE FAIRE TOURNER LA LUNE ?

I - CHUTES DE CORPS A LA SURFACE DE LA TERRE

Pour faire cette étude, nous allons utiliser la fonction simulation du logiciel *mécawin*. Il faut bien garder en mémoire que les mouvements que nous allons étudier sont uniquement dus à une seule force : la force de gravitation universelle.

Je propose à chaque groupe d'élèves de lancer, par simulation, un objet avec ou sans vitesse initiale horizontale.

Questions :

⇒ Que remarquez-vous lorsque la vitesse est nulle ?
⇒ Que remarquez-vous lorsque la vitesse initiale augmente ?
Où retombe l'objet ? comment s'effectue ce mouvement ?
⇒ Représenter la force responsable du mouvement.
Vous la représenterez sur une des positions de l'objet en sachant que cette force garde en permanence une même direction.
⇒ Que faut-il faire pour satelliser un objet ?

Les réponses doivent s'accompagner d'une reproduction des figures représentées à l'écran de l'ordinateur. Le résultat doit ressembler à la figure 1.
Les résultats des différents groupes sont discutés en classe. Certaines hypothèses émises ont été vérifiées au cours de la discussion sur l'ordinateur.

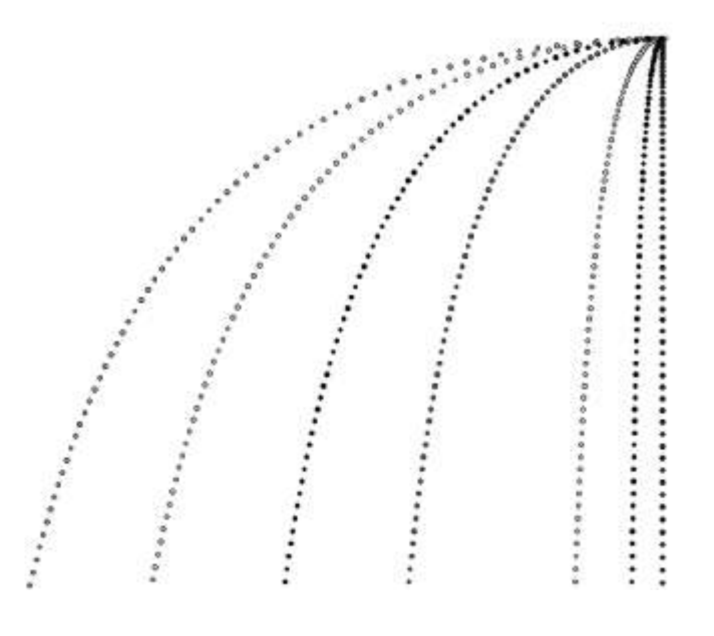
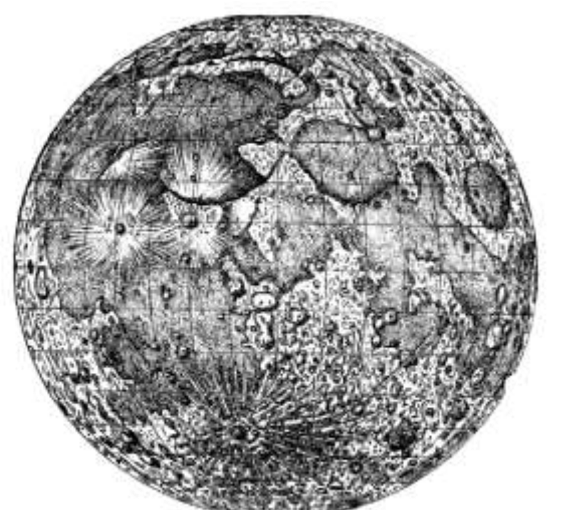


Figure 1

II - COMMENT REPRODUIRE LE MOUVEMENT DE LA LUNE ?

Le mouvement de la Lune autour de la Terre est pratiquement circulaire. A l'aide du logiciel, essayer de reproduire ce mouvement.



Vous devez 'lancer' la Lune de manière à avoir un mouvement circulaire. Pour cela, vous devez par des essais successifs et trouver la valeur de la vitesse qui permet un tel mouvement.

⇒ Commenter les résultats obtenus.

⇒ Le mouvement est-il toujours circulaire ? Préciser.

⇒ Représenter sur votre feuille les différents cas possibles en y dessinant le vecteur force en un point de la trajectoire.

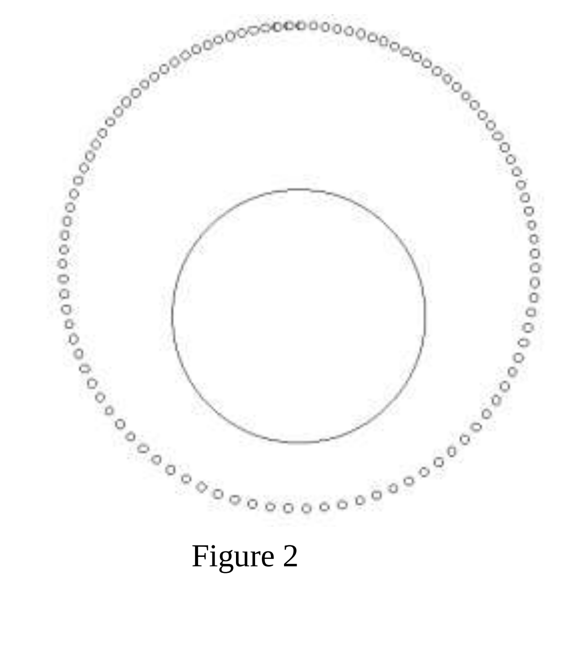
⇒ Dans le cas d'un mouvement circulaire, que pouvez-vous dire de la vitesse de la Lune ?

Comme précédemment les résultats sont commentés avec l'ensemble de la classe.

Les résultats montrent que les trois possibilités sont assez facilement trouvées :
- La Lune tombe sur la Terre.
- La Lune est satellisée.
- La lune s'éloigne de la Terre.

Pour le cas où la Lune est satellisée, l'étude des différentes positions montre bien que la vitesse est constante pour le mouvement circulaire (voir figure 3) .

Pour ce TP il faut absolument que les élèves visualisent en permanence la force responsable du mouvement. Le fait de la représenter dans les deux parties de cette activité leur a permis de se retrouver 'à la place' de Newton et ainsi d'en déduire que la force qui fait tomber les objets sur Terre est bien la même que celle qui fait tourner la Lune.



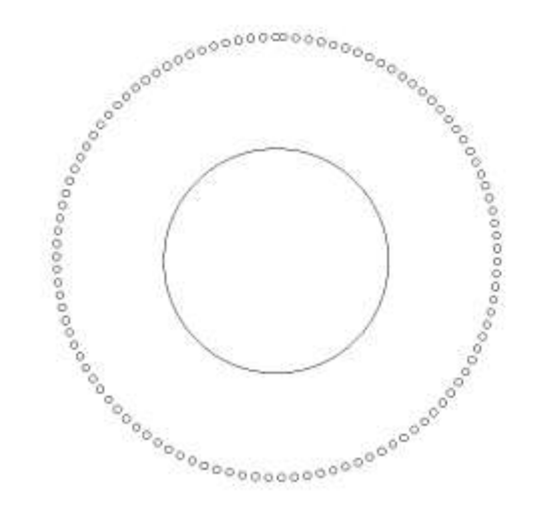




Figure 2 Figure 3



COSMOGONIE ET MYTHOLOGIE
OU COMMENT PROPOSER UN SYSTEME D'INTERPRETATION DU MONDE

GROUPEMENT DE TEXTES

- **Texte 1 : *La Genèse*, chap.1**
- **Texte 2 : Extrait de *La Théogonie* (8ème - 7ème siècle avant J.C) d'*Hésiode***
- **Texte 3 : « *l'Hymne des Astres* » vv. 47-92 in *Les Hymnes* (1555) de *Pierre de Ronsard***
- **Texte 4 : Extrait de *Petite cosmogonie portative* (1969) vv.1-79 de *Raymond Queneau***

Texte 1 : *La Genèse*, chap.1

CHAPITRE I

Création du monde et de l'homme

1. Au commencement, Dieu créa le ciel et la terre.
2. La terre était informe et toute nue, les ténèbres couvraient la face de l'abîme et l'Esprit de Dieu était porté sur les eaux.
3. Or, Dieu dit : Que la lumière soit faite ; et la lumière fut faite.
4. Dieu vit que la lumière était bonne, et il sépara la lumière d'avec les ténèbres.
5. Il donna à la lumière le nom de Jour, et aux ténèbres le nom de Nuit ; et du soir et du matin se fit le premier jour.
6. Dieu dit aussi: Que le firmament soit fait au milieu des eaux, et qu'il sépare les eaux d'avec les eaux.
7. Et Dieu fit le firmament : et il sépara les eaux qui étaient sous le firmament de celles qui étaient au-dessus du firmament. Et cela se fit ainsi.
8. Et Dieu donna au firmament le nom de Ciel; et du soir et du matin se fit le deuxième jour.

9. Dieu dit encore: Que les eaux qui sont sous le ciel se rassemblent en un seul lieu, et que l'élément aride paraisse. Et cela se fit ainsi.
10. Dieu donna à l'élément aride le nom de Terre, et il appela Mers toutes ces eaux rassemblées. Et il vit que cela était bon.
11. Dieu dit encore : Que la terre produise de l'herbe verte qui porte de la graine, et des arbres fruitiers qui portent du fruit chacun selon son espèce, et qui renferment leur semence en eux-mêmes pour se reproduire sur la terre. Et cela se fit ainsi.

12. La terre produisit donc de l'herbe verte qui portait de la graine selon son espèce, et des arbres fruitiers qui renfermaient leur semence en eux-mêmes, chacun selon son espèce. Et Dieu vit que cela était bon.
13. Et du soir et du matin se fit le troisième jour.
14. Dieu dit aussi: Que des corps de lumière soient faits dans le firmament du ciel, afin qu'ils séparent le jour d'avec la nuit, et qu'ils servent de signes pour marquer les temps et les saisons, les jours et les années ;
15. Qu'ils luisent dans le firmament du ciel, et qu'ils éclairent la terre. Et cela fut fait ainsi.
16. Dieu fit donc deux grands corps lumineux, l'un plus grand pour présider au jour, et l'autre moindre pour présider à la nuit : il fit aussi les étoiles.
17. Et il les mit dans le firmament du ciel pour luire sur la terre.
18. Pour présider au jour et à la nuit, et pour séparer la lumière d'avec les ténèbres.
19. Dieu vit que cela était bon. Et du soir et du matin se fit le quatrième jour.
20. Dieu dit encore : Que les eaux produisent les animaux vivants qui nagent dans l'eau, et des oiseaux qui volent sur la terre sous le firmament du ciel.
21. Dieu créa donc les grands poissons, et tous les animaux qui ont la vie et le mouvement, que les eaux produisirent chacun selon son espèce; et il créa aussi tous les oiseaux selon leur espèce. Et Dieu vit que cela était bon.
22. Et il les bénit, en disant: Croissez et multipliez-vous, et remplissez les eaux de la mer; et que les oiseaux se multiplient sur la terre.



23. Et du soir et du matin se fit le cinquième jour.
24. Dieu dit aussi: Que la terre produise des animaux vivants chacun selon son espèce, les animaux domestiques, les reptiles et les bêtes sauvages de la terre selon leurs différentes espèces. Et cela se fit ainsi.
25. Dieu fit donc les bêtes sauvages de la terre selon leurs espèces, les animaux domestiques et tous les reptiles chacun selon son espèce. Et Dieu vit que cela était bon.
26. Il dit ensuite: Faisons l'homme à notre image et à notre ressemblance, et qu'il commande aux poissons de la mer, aux oiseaux du ciel, aux bêtes, à toute la terre, et à tous les reptiles qui se remuent sous le ciel.
27. Dieu créa donc l'homme à son image; il le créa à l'image de Dieu, et il les créa mâle et femelle.
28. Dieu les bénit, et il leur dit : Croissez et multipliez-vous, remplissez la terre, et vous l'assujettissez, et dominez sur les poissons de la mer, sur les oiseaux du ciel, et sur tous les animaux qui se meuvent sur la terre.
29. Dieu dit encore: Je vous ai donné toutes les herbes qui portent leur graine sur la terre, et tous les arbres qui renferment en eux-mêmes leur semence chacun selon son espèce, afin qu'ils vous servent de nourriture ;
30. Et à tous les animaux de la terre, à tous les oiseaux du ciel, à tout ce qui se meut sur la terre, et qui est vivant et animé, afin qu'ils aient de quoi se nourrir. Et cela se fit ainsi.
31. Dieu vit toutes les choses qu'il avait faites; et elles étaient très bonnes. Et du soir et du matin se fit le sixième jour.

Texte 2 : Extrait de *La Théogonie* (8ème - 7ème siècle avant J.C.) d'*Hésiode*

Chaos, l'abîme béant, naquit le tout premier; puis Gaia, la terre au vaste sein, assise à jamais inébranlable de toutes choses, et Éros, le plus beau des dieux immortels, qui défait les membres et, dans la poitrine de tous, dieux et humains, dompte l'esprit et le sage vouloir.

De Chaos naquirent Érébos, la ténèbre, et Nyx, la nuit noire. De Nyx naquirent AEther, la quintessence lumineuse de l'air, et Héméra, le jour, qu'elle conçut et enfanta après s'être unie à Érébos.
Gaia enfanta d'abord Ouranos, le ciel étoilé, aussi grand qu'elle-même, pour qu'il la couvrît tout entière et fùt, pour les dieux bienheureux, une demeure inébranlable à jamais; puis elle enfanta les hautes Montagnes, plaisant séjour des Nymphes divines, qui habitent au creux des vallons; elle enfanta aussi Pontos, la mer aux flots stériles, toute gonflée de vagues - et tout cela sans connaître le désir ni l'étreinte.
Mais ensuite, s 'étant unie à Ouranos, elle enfanta Océanos aux tourbillons profonds, Coios et Crios, Hypérion et Japet, Théia et Rhéa, Thémis et Mnémosyne, Phoebé, à la couronne d'or et l'aimable Téthys; le dernier-né d'entre eux fut Cronos à l'esprit retors, le plus redoutable de tous ses enfants, qui prit en haine son florissant géniteur[1].
Elle enfanta encore les Cyclopes dont le cœur est plein de violence : Brontès, Stérôpès et l'audacieux Argès qui donnèrent à Zeus le tonnerre et façonnèrent pour lui la foudre; ils étaient en tout semblables aux dieux: seul les en distinguait un oeil unique planté au milieu du front. (Cyclopes - oeil-rond - était leur nom, parce qu'unique était l'œil rond planté au milieu de leur front.) Force, violence et ruse étaient dans tous leurs actes.
De Gaia et Ouranos naquirent encore trois autres enfants, grands, vigoureux, qu'on tremble de nommer : Cottos, Briarée et Gyès, rejetons pleins d'orgueil ; cent bras jaillissaient, terribles, de leurs épaules entre lesquelles avaient poussé cinquante têtes, dominant leur corps vigoureux; et toute leur personne, d'une taille démesurée, respirait une force et une vigueur sans égales.
Or ceux qui étaient nés de Terre et de Ciel étaient les plus terribles des enfants, et leur géniteur les prenait en haine dès les premiers instants; à peine étaient-ils nés que, sans les laisser monter vers la lumière, il les enfouissait dans le sein de la Terre.
Et Ciel prenait plaisir à cette oeuvre mauvaise, cependant qu'en ses profondeurs, Terre énorme, pleine, gémissait. Alors elle imagina une ruse cruelle. Sans tarder, d'un brillant acier qu'elle avait créé, elle façonna une grande serpe et fit connaître sa pensée à ses enfants. Pour les encourager, le cœur en peine, elle leur dit « Enfants qui êtes miens, fils aussi d'un père insensé, Si vous m'en croyez, nous ferons payer ses traitements odieux au père qui est le vôtre: car c'est lui le premier qui conçut des ignominies. »
Ainsi parla-t-elle. Alors la crainte les saisit tous et nul d'entre eux ne dit mot. Cependant le grand Cronos à l'esprit retors, hardiment répondit à sa noble mère: « Moi je me charge, mère, de mener à bien la besogne; je me soucie peu du père - il ne mérite pas ce nom - qui est le nôtre : car c'est lui le premier qui conçut des ignominies. »

Ainsi parla-t-il et grande fut la joie de Terre énorme. Elle le posta en embuscade, lui mit dans les mains la serpe aux dents acérées et l'instruisit du piège dans son entier.
Alors vint Ciel immense amenant la nuit avec lui. Pris d'un désir amoureux, il se répandit à l'entour de Terre et s'étendit de tous côtés; de l'endroit où il s'était embusqué, son fils tendit alors vers lui la main gauche et, saisissant dans sa droite la grande, l'énorme serpe aux dents acérées, il faucha brutalement le membre de son père qu'il rejeta par derrière soi. Mais le membre ne s'échappa pas en vain de sa main. Les éclaboussures sanglantes qui en jaillirent, Terre les reçut toutes ; et, au fil des ans, elle enfanta les puissantes Érinyes, les grands Géants qui brillent sous leur armure et tiennent en mains de longs javelots, et les Nymphes dites des frênes, sur la terre sans limites.

Cependant, une fois tranché par l'acier et jeté, loin de la terre, dans les flots tumultueux de la mer, le membre dériva longtemps: sortie de la chair immortelle, une blanche écume l'entourait, dans laquelle se forma une jeune fille; tout d'abord elle s'approcha de Cythère la divine et, de là, gagna Chypre qu'entourent les flots. Puis la belle et vénérable déesse sortit de la mer: elle allait, d'un pas souple, faisant croître l'herbe alentour. Parce qu'elle fut formée d'écume, les dieux et les hommes l'appellent Aphrodite[3], ou encore Cythérée, parce qu'elle aborda à Cythère. Ils l'appellent aussi Cyprogénée, parce qu'elle est née à Chypre ou encore Philommédée[2], parce qu'elle est sortie du membre. Amour l'escorta et le beau Désir la suivit dès qu'elle fut née et qu'elle alla rejoindre le peuple des dieux. Depuis le début, parmi les dieux et les hommes, lui sont réservés, comme un privilège, les babillages de jeune fille, les sourires, les tromperies, les délices du plaisir, la tendresse et la douceur.
Quant aux enfants que le grand Ouranos avait lui-même engendrés, il leur donna, dans la querelle qui l'opposait à eux, le nom de Titans; ils avaient commis, leur dit-il, un grand crime, en étendant ainsi leur pouvoir dans un accès d'orgueil insensé: il leur fallait s'attendre à un châtiment[4].

1. Ces douze premiers enfants de Gaia et Ouranos sont les douze Titans Titanes : six mâles et six femelles.
2. *Aphros,* en grec. signifie "écume".
3. De *philos,* "ami" et *mèdos,* "sexe de l'homme".
4. Hésiode rapproche le nom des Titans du verbe *titainein***,** "tendre, étendre" et du substantif *tisis*, "prix à payer, châtiment". De là les deux verbes étendre et s'attendre.



Texte 3 : « l'Hymne des Astres » vv. 47-92 in *Les Hymnes* (1555) de *Pierre de Ronsard*

Déjà ces grands Géants en grimpant contremont[1],
D'Olympe sourcilleux[2] avaient gagné le front,
Et jà tenaient le Ciel, et le fils de Saturne[5]
Eussent emprisonné dans la chartre nocturne[4]
De l'abîme d'Enfer, où il tient enserrés
Et de mains, et de pieds, les Titans[5] enferrés',
Sans l'Astre[7], qui depuis eut le surnom de l'Ourse,
Qui regardait pour lors toute seule la course
Des autres qui dansaient, et Si ne dansait pas,
Ayant, comme jà lasse, arrêté ses beaux pas
Fermes devers Borée[5], et là, voyant l'embûche
Que brassaient[9] les Géants, tout soudain elle huche[10]
La troupe de ses Sœurs, et s'en va réciter[11]
En tremblant l'embuscade au père[12] Jupiter.
" Armez-vous (dit l'E toile), armez, vêtez vos armes,
Armez-vous, armez-vous : je ne sais quels gendarmes
Ont voulu trois grands monts l'un sur l'autre entasser
Pour conquérir le Ciel, et pour vous en chasser. "
Adoncques Jupiter, tout en sursaut commande,
Ayant sa peau de Chèvre[13], à la céleste bande[14]
De vêtir les harnois[15], pour garder leur maison,
Et leurs mains de porter[16] des fers en la prison.
Jà déjà s'attaquait l'escarmouche[17] odieuse,
Quand des Astres fiambants[15] la troupe radieuse
Pour éblouir la vue aux Géants. furieux,
Se vint droite planter vis-à-vis de leurs yeux,
Et alors Jupiter du trait de sa tempête
Aux Géants aveuglés escarbouilla[19] la tête,
Leur faisant distiller[50] l'humeur de leurs cerveaux
Par les yeux, par la bouche, et par les deux naseaux[21],
Comme un fromage mol, qui suspendu s'égoutte
Par les trous d'un panier, à terre goutte à goutte.
Lors des Astres divins (pour leur peine d'avoir
Envers Sa Majesté si bien fait leur devoir)
Arrêta la carrière; et tous en telle place
Qu'ils avaient de fortune[22], et en pareille espace[23],
D'un lien aimantin[54] leurs plantes[25] attacha,
Et comme de grands clous dans le Ciel les ficha;
Ainsi qu'un maréchal[26] qui hors de la fournaise
Tire des clous ardents, tous rayonnés[57] de braise,
Qu'à grands coups de marteaux il cogne durement
Alentour d'une roue arrangés[25] proprement
Puis il leur mit ès mains le fil des Destinées
Et leur donna pouvoir sur toutes choses nées,
Et que par leurs aspects[29] fatalisé[30] serait
Tout cela que Nature en ce Monde ferait.

1 vers le haut. **2** élevé. **3** Jupiter. **4** prison ténébreuse. **5** fils du Ciel et de la Terre, ils gouvernaient le monde avant Jupiter, qui mit dix ans à les vaincre et les précipita dans le Tartare. **6** enchaînés. **7** l'Étoile polaire. **8** le Nord. **9** préparaient. **10** appelle **11** raconter. **12** seigneur. **13** l'égide, bouclier en peau de chèvre. **14** troupe des dieux. **15** armures. **16** et éviter que leurs mains ne portent. **17** s'engageait la bataille. **18** flamboyants. **19** écrasa. **20** couler. **21** narines. **22** à l'endroit que par hasard ils occupaient. **23** et en conservant leurs distances respectives. **24** d'acier. **25** pieds. **26** ferrant. **27** rayonnant. **28** disposés (apposition à *clous).* **29** position de deux astres l'un par rapport à l'autre. **30** fixé comme par le Destin.

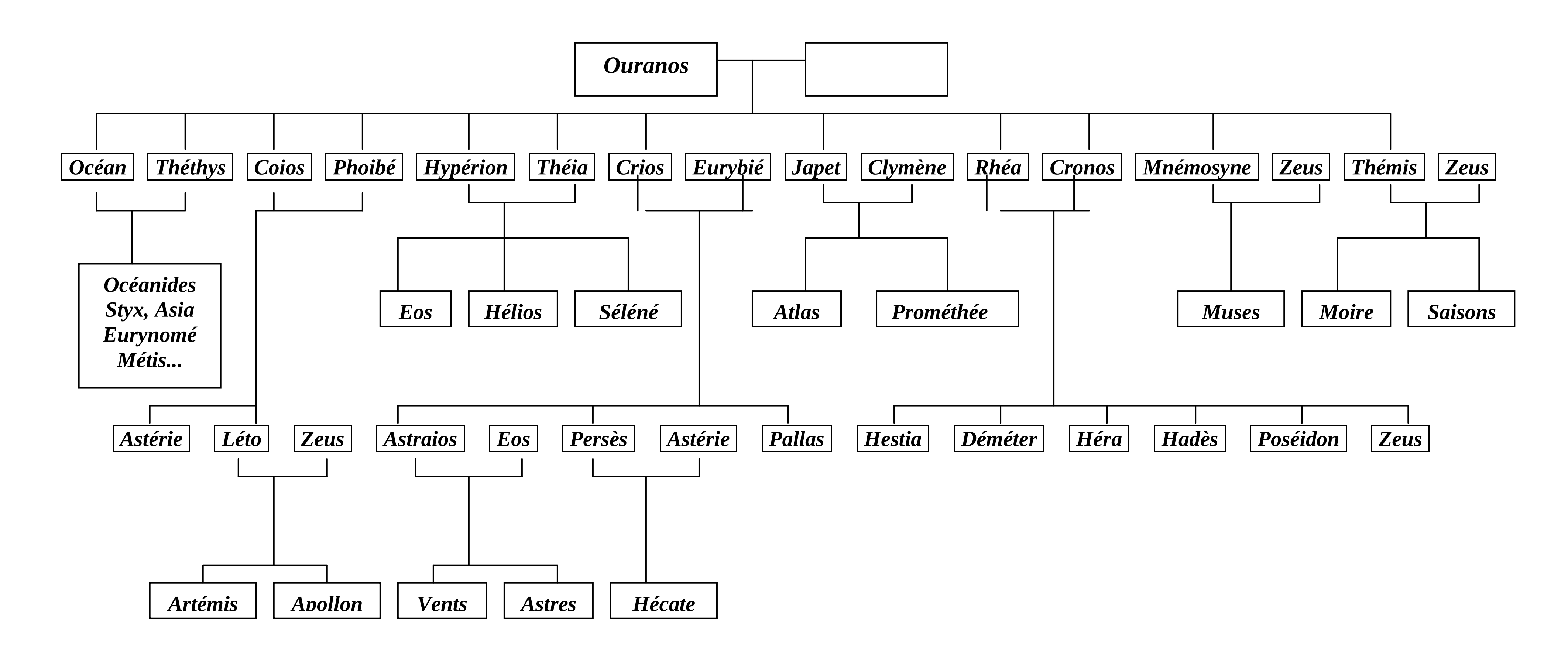
Les Hymnes, 1555, Hymne des Astres, poème de *256* vers.

Texte 4 : Extrait de *Petite cosmogonie portative* (1969) vv.1-79 de Raymond Queneau

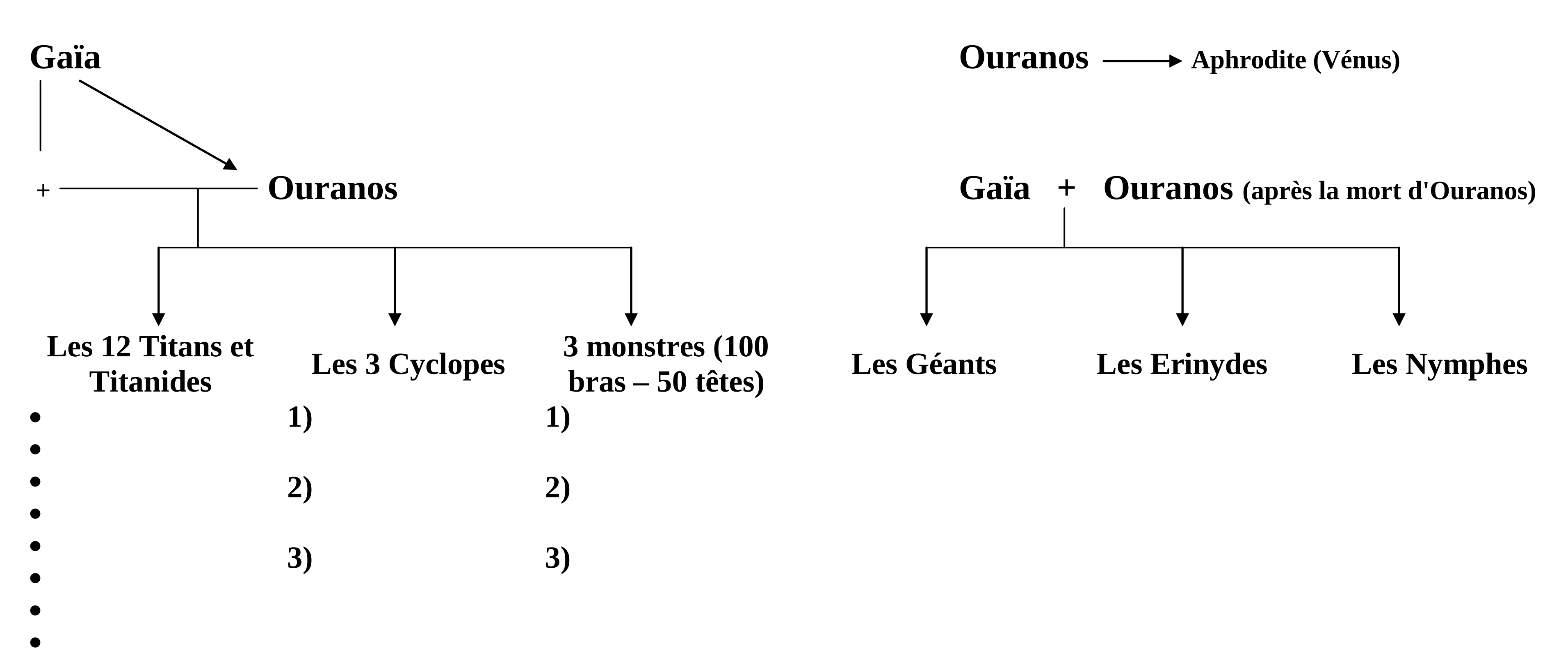
La terre apparaît pâle et blette elle mugit
distillant les gruaux qui gloussent dans le tube
où s'aspirent les crus des croûtes de la nuit
gouttes de la microbienne entrée au sourd puits
la terre apparaît pâle et blette elle s'imbibe
de la sueur que vomit la fièvre des orages
Un calme s'établit Les nuages ont fondu
comme le plomb balourd des soldats survécus
Un lierre un gardénia des fleurs enfantillages
accomplissent le joug des temps mûrs sur la terre
C'est encor des vaccins et c'est encor des nuages
la piqûre d'éclair dans la cuisse des sols
et l'odeur de l'éther dans l'opération gée
et le taire du ciel modelant les montagnes
et le traire des monts la lave et l'archipel
la terre terrassant démente se démène
et se plisse comme un cul de sèche momie
étalant ses varices éclatées Jeunesse
jeunesse ô jeunesse ô terre qui se promène
entre deux vagues de comètes paraboles
arbres des bustes noirs la comète est ellipse
arbres des lambris noirs elle va rétrograde
la comète inclinée en mil neuf cent et dix
arbres des cercles noirs arbres des piliers noirs
ô jeunesse ô jeunesse et cette terre qui
se contracte exaltée en sa mûre besogne
arbres qui sur la blette terre qui mugit
les arbres ont pondu des ravins de cigognes
hannetons en rafale et scarabées gigognes
les arbres ont meurtri leurs fentes crevassées
d'accouchements épais et plutôt vivipares
un train qui bêlait mou s'affirme vieux zoaire
et les barques coulant se veulent infusoires
la vie et puis la vie et puis de maints espoirs
le noyau qui se fisse et fendu comme fesse
altère une autre noix où les fils filiformes
gênent de leurs néants les possibles qui dorment
coquillages d'ivoire enveloppes de corne
les roues tournent galas dans le palais des spores
algues et champignons bouillant dans la marmite
c'est le seuil des sulfurs le déclin des bromates
un gramme de silicse perverse albumine
les chlorures les chaux dégustent les virus
trop grosses les cuillers ont versé laborantes
des masses de liaisons qui déjà s'adultinent
Un gros moellon s'en va salut lune salut
jeunesse ô jeunesse ô des lundis arrachée
les champs du Pacifique écoutaient ta marée
salut lune salut lunaire est cet abîme

un grand trou dans la terre et voici les eaux noires
salut lune salut commère des histoires
des êtres qui cherchaient la déroute des monstres
se jetaient dans la plaie et vivaient inconnus
et toi caillou volais bourrelé de légendes
face de lampadaire et visage de brie
reine jaune ou blanchâtre et fusion de la nuit
point n'est besoin pour toi Séléné de partir
de ce creux qu'aussi bien peut former la dérive
noir est le jour la nuit noir est l'arbre l'atome
claire saison des jours claire saison des nuits
buée au-dessus des eaux buée au-dessus des lunes
que valve toute lave en la porosité
que la mer se foudroie en la pluie et puis qu'une
pluie amène la mer au-dessus de tout mont
la terre est revenue avec ce profil blet
et ce nez avachi qu'emporta satellite
le lourd support cratère où gèle tout espace
cette érotique acné qui module la face
des mâles ingénus des premières espèces
et la terre plissait le sédiment des mers
bourgeonnait soupirait haletait ahanait
boutonnait pleurnichait ahanait haletait
germinait haletait ahanait grommelait
drageonnait ahanait haletait grognonnait
pustulait boursouflait suppurait purulait
volcans de tout anus laves de ce sphincter
la terre avait conchié l'espace hyménoderme
la terre se voyait jeunesse en ces volumes
hyper leurs quatre trucs éclatement burlesque

Descendance d'Ouranos et de Gaia



GENEALOGIE DE GAÏA ET OURANOS







Cosmogonie et mythologie
ou comment proposer un système d'interprétation du monde

Cours d'introduction : présentation du groupement

I - L'INTITULE

- Sens des 2 mots clés:

1) *cosmogonie* :

vient du grec *kosmos*

⇨ Idée d'ordre, d'organisation.

⇨ Chez les philosophes, a désigné l'ordre du monde, de l'univers. Seul, ce sens est resté.

+ *gonê* : racine qui signifie engendrer, naître.

Le terme a fini par désigner toute théorie expliquant la formation de l'univers, ou de certains objets célestes.

2) *mythologie* :

vient du grec *muthos* qui désigne la parole, le discours, le propos et par glissement de sens toute fiction ou récit,

+ *logos* terme qui désigne lui aussi le discours, mais le discours organisé et structuré. C'est cette nuance de sens qui a participé à l'élaboration du suffixe *–logie* qui entre dans la formation de noms de sciences.

Le mot renvoie donc à toute explication des fables et plus généralement à l'étude «scientifique» des mythes.

- On peut, après ces précisions lexicologiques, envisager de façon plus approfondie le(s) sens de l'intitulé et déduire une problématique pour l'étude de l'ensemble des textes : la formation et la création des mythes seraient donc intrinsèquement liées au développement, à la création littéraires. On pourra donc se demander, tout au long de notre étude, en quoi le développement littéraire –i.e. le recours à l'art littéraire- peut combler les manques du savoir et de la compréhension humaine qui ne sont pas capables d'expliquer l'origine et la création du monde.

II - LES DIFFERENTS EXTRAITS DU GROUPEMENT

1) Mise au point d'une méthode d'approche des textes

- Après une *lecture-découverte* de chaque extrait, on pourra s'interroger sur les critères à retenir pour proposer une classification des extraits :

⇨ par genre littéraire ? Cela semble difficile et peu efficace.

⇨ par intentions d'auteur ? Cette démarche s'avère plus fructueuse.

• On peut, avant de partir à la découverte des textes, attirer l'attention sur la période que couvrent tous les extraits qui témoignent de 30 siècles de création littéraire : on atteint donc avec ces textes au cœur des préoccupations humaines.

2) Quelles sont les intentions des différents auteurs ?

• *La Bible*

⇨ Volonté de **montrer l'existence de Dieu**. On peut, dès lors, demander aux élèves quel type de texte ils s'attendent à voir utiliser : le projet devrait avoir été mis en œuvre grâce à une démarche argumentative. L'hypothèse de lecture qui pourra être retenue, lors de l'étude plus détaillée du texte, consistera donc à se demander à quel type de texte on a affaire.

• *La Théogonie*

⇨ **Expliquer la création de l'univers** : il s'agit donc d'une cosmogonie; toutefois, les éléments revêtant tous une figure divine, **cette cosmogonie prend la forme particulière d'une théogonie**. En effet, Hésiode propose également une lecture de la naissance et de la généalogie des dieux.

• *L'Hymne des Astres*

⇨ **Expliquer l'origine de l'astrologie** à partir de la mythologie.

• *Petite cosmogonie portative*

⇨ **Démarche critique et éminnement satirique**. L'analyse rapide du titre de l'œuvre révèle d'emblée la portée amusante qu'entretiennent les deux épithètes (*petite* et *portative*) avec le substantif.On peut même lire dans cette association une antinomie : comment LE texte censé répondre à LA question fondamentale pourrait-il être bref (*petit*[...]) et suffisamment léger –à tous les sens du terme- c'est-à-dire *portatif* ? On pourrait peut-être rapprocher cette image assez cocasse DU livre qui dirait tout en quelques lignes et qu'on tiendrait du bout des doigts, de l'objet ***astrolabe*** qui est une figuration de l'univers, laquelle tient dans la main de l'utilisateur…

Enfin, dès la première lecture, les élèves auront perçu les écarts de ce texte par rapport aux normes poétiques qu'ils connaissent (utilisation fantaisiste du lexique, absence de ponctuation, accumulation grotesque de formes verbales (vv.71-75)).

Propositions de lectures methodiques
pour chacun des extraits

I - PREMIER EXTRAIT : *La Bible*

Brève présentation de l'œuvre : *La Genèse* est le premier livre du Pentateuque qui constitue la Tora de la religion juive et les cinq premiers livres de la Bible. Ce livre est composé de matériaux d'origines diverses qui furent progressivement assemblés, ordonnés ou combinés par des scribes du 9ème au 5ème siècle avant JC. Il s'agit donc des discours de différents prophètes qui proposent une cosmogonie sans souci scientifique et en faisant usage de leurs talents poétiques.

Lecture méthodique

• Pour aborder l'extrait, on pourra proposer aux élèves un petit travail de recherche préliminaire sous la forme suivante : *Relevez les procédés qui concourent à donner un rythme à l'extrait.*

Réponses :

⇨ la composition en versets

⇨ les nombreuses répétitions qui fonctionnent comme un refrain

• Projet de lecture :

A quel type de texte a-t-on à faire ?

Quel est le but de ce texte ?

A) Analyse de la syntaxe

- La parataxe : pas de mot de liaison qui indique la nature du rapport logique entre les phrases ou les propositions. Large recours à la conjonction de coordination *et* qui ici ne signale aucun rapport logique mais renvoie au fait que le propos progresse par ajouts successifs.

- Seuls liens logiques exprimés : *donc* (versets 12,16,25,27) (coordination)

Afin que (versets 14 et 29) (subordination)

Que, qu'…qu' (15) (sub.)

⇨ Le propos n'est pas construit, ordonné. Le locuteur enchaîne les événements selon la seule chronologie (et non la logique). Pas de travail stylistique : on a à faire à un texte informatif et non à un texte littéraire.

B) Analyse de l'énonciation

- Pronom de la délocution (3ème personne du singulier : *Dieu/il*)

⇨ Récit – locuteur absent

- Modalités d'énonciation :

la modalité déclarative domine le texte.

la modalité injonctive : impératif (versets 22, 26, 28).

que + subjonctif (versets 3, 6, 9, 11, 14, 20, 22, 24,26)

⇨ Discours de Dieu qui est alors locuteur : il donne des ordres aux éléments. Procédé qui met en lumière la supériorité absolue de la créature divine (ce qui est le propos fondamental du texte). **Absence de narrateur et mise en évidence du pouvoir divin**.

C) Analyse du lexique :

On relèvera les champs lexicaux de l'univers et du cosmos.

Conclusion

On a à faire à un texte dont le but premier ne consiste pas en une mise en œuvre habituelle des procédés stylistiques : pas de recherche esthétique quant à la façon de s'exprimer cf. les répétitions des versets 3, 4, 5 où le terme *lumière* apparaît quatre fois et celles du verset 7 où celui de *firmament* apparaît trois fois.

Nous sommes en présence d'un texte non littéraire à visée informative ; en effet, la Bible montre le pouvoir de dieu et comment il a créé le monde : la démarche est donc explicative et non argumentative. Le but de cet extrait est de présenter la naissance du monde sans souci de mise en œuvre littéraire.

II - DEUXIEME EXTRAIT : *Théogonie*

Brève présentation de l'œuvre et de l'auteur : Hésiode est un poète grec des 8ème –7ème siècles avant JC, il imite la langue et la technique d'Homère mais propose une vision du monde différente : d'origine paysanne, Hésiode renonce aux grandes épopées. Dans *Les Travaux et les Jours*, il évoque des préceptes sur l'économie domestique, les travaux des champs, le commerce et la navigation. Il insiste sur les devoirs de l'individu et propose un

calendrier des jours propices aux différents ouvrages. Le titre de l'œuvre qui nous intéresse signifie *généalogie, origine des dieux.* Cette théogonie est une cosmogonie puisque les dieux originels sont des personnifications des forces naturelles.

Lecture méthodique

• Pour aborder l'extrait, on proposera aux élèves de repérer les personnages du texte en complétant le tableau intitulé *Généalogie de Gaïa et Ouranos.*
• Analyse d'un passage du texte : on demandera aux élèves de relever et classer les éléments qui participent à la personnification des dieux des lignes 53 à 71.

Réponses :

- le lexique de la parole
- le lexique des sentiments
- le lexique de la pensée

• Pour conclure cette séance et amener les élèves à faire le lien avec des connaissances acquises depuis le collège, on leur proposera de repérer les dieux principaux de la mythologie grecque, en surlignant leur nom sur le tableau intitulé *Descendance d'Ouranos et de Gaïa*.

• Enfin, on leur donnera les éléments qui leur permettront de relier les événements racontés ici par Hésiode aux épisodes plus connus de la mythologie :

- Cronos (Saturne pour les Romains) règne sur l'univers avec Rhéa (son épouse-sœur). Il tue tous ses enfants à cause d'une prédiction selon laquelle l'un d'entre eux le détrônerait. Rhéa réussit à sauver Zeus (Jupiter) qui force son père à dégorger les 5 premiers enfants qu'il avait avalés.
- Guerre qui oppose les Titans et Cronos contre Zeus et ses frères et sœurs.
- Victoire de Zeus auquel s'étaient ralliés ses oncles (les monstres aux 100 bras) et Prométhée (fils du Titan Japet).
- Révolte des Géants.
- Victoire de Zeus et ses frères et sœurs qui règnent désormais en souverains incontestés sur tout ce qui existe.

⇨ Le monde purgé de ses monstres est prêt à accueillir l'humanité.
La Terre est alors considérée comme un disque rond divisé en deux par la mer Méditerranée. Le monde terrestre est entouré d'un fleuve immense : Océan.
Sur son rivage le plus lointain vit un peuple mystérieux : les Cimmériens.
Au Nord : les Hyperboréens (peuple joyeux et très protégé des dieux).
Au Sud : les Ethiopiens (également très aimés de dieux).
Sur la rive d'Océan se situe le séjour des ombres des justes, c'était là que venaient, après avoir quitté la terre, ceux dont l'âme était pure.

Deux légendes se font concurrence quant à l'apparition de l'humanité :

1) Prométhée dont le nom signifie *prévoyant* a été aidé par son frère Epithémée (= *qui réfléchit trop tard*). Epithémée a d'abord créé les animaux auxquels il a tout donné : il ne reste donc rien pour l'homme. Prométhée intervient et donne aux hommes l'attitude noble et supérieure des dieux : ils se tiennent debout. Puis comme protection, il leur donne le feu qu'il est allé voler dans les régions célestes.

2) La création humaine provient des dieux eux-mêmes et elle s'est effectuée en 5 étapes :

- race tirée de l'or
- argent
- bronze (autodestruction de la race)

- une race de héros
- race du fer : travail et souffrance.

Race, qui au fil des générations devient de plus en plus mauvaise. Zeus la détruira quand elle sera arrivée au terme de sa dégénérescence.
⇨ Monde sans femmes

Zeus, pour se venger de Prométhée (qui avait volé le feu pour le donner à ses protégés) fit forger par Vulcain une créature splendide : Pandore (= *don de tout*). Les dieux lui avaient offert une boîte dans laquelle chacun d'eux avait mis une chose nuisible : elle ne devait l'ouvrir sous aucun prétexte. Epithémée, bien que son frère lui eût défendu d'accepter quoi que ce soit de Zeus, accueillit Pandore qui, dévorée de curiosité, ouvrit la boîte, laquelle laissa échapper sur terre tous les maux qu'elle contenait.

III - TROISIEME EXTRAIT : *l'Hymne des Astres*

Brève présentation du contexte historique et culturel : on évoquera rapidement la *Renaissance* et la tentation pour Ronsard d'une poésie plus grave que celle qu'on connaît habituellement de lui. En 1555, avec la rédaction des *Hymnes,* il propose une poésie scientifique et didactique. Mêler ainsi poésie et réflexion scientifique constitue, pour cette période de grande ferveur intellectuelle, une démarche intéressante.

Lecture méthodique

La difficulté du texte est telle qu'on demandera aux élèves, et dès la 1ère lecture, de reformuler le propos général de l'extrait : on mettra alors en évidence qu'il s'agit d'expliquer le fondement en la croyance astrologique. En effet, Jupiter, pour remercier les étoiles de leur intervention en sa faveur contre les Géants, leur accorde d'être fixées sur la paroi du ciel. Leur course est alors déterminée et liée au mouvement circulaire apparent de la voûte céleste ; de plus, elles présideront au destin des hommes.

A) Analyse des comparaisons

Afin d'amener les élèves à s'intéresser à cette figure de style, on leur aura posé la question suivante : *comment les dieux sont-ils présentés ?*

- Repérage : v. 31 et vv. 38-40
- Analyse :
  - v. 31 : image horrible si prise au 1er degré. Au second degré : image burlesque révélant un certain humour
  - vv. 38-40 : Dieu est comparé à un maréchal-ferrant. Il est vu comme ayant des activités prosaïques, vulgaires ; il est assimilé au commun des mortels. Ronsard propose une représentation quelque peu dégradée et anachronique de dieu.

On peut rapprocher cette vision de la tradition homérique où les dieux sont tour à tour sublimes et grotesques.

B) Analyse du lexique de la guerre

- Repérage :

armez (v. 15 et 16 : 4 occurrences)
armes (v. 15)
gendarmes (v. 16)
conquérir (v. 18)
harnois (v. 21)

escarmouche (v. 23)
troupe (v. 24)

• Analyse : passage aux accents épiques ; cette tonalité est peu attendue dans un développement sur la formation du monde et de l'univers. On a en fait à faire à une scène de guerre qui renvoie à l'art militaire tel qu'on le concevait au XVIème siècle.

C) Analyse de la prosodie

• Repérage d'allitérations (v. 27, vv. 41-42) et d'assonances (v. 32)
• Analyse : on insistera sur le pouvoir imitatif des sonorités en poésie ; ici l'assonance en [ou] renvoie évidemment au bruit du goutte à goutte et l'allitération en [r] aux coups de marteau.

D) Analyse du rythme

a) enjambements (séparation par la rime de 2 groupes fonctionnels dépendants).
• Repérage :

v. 3 / v. 4	COD / verbe
v. 5 / v. 6	verbe / COD (*les Titans enferrés*)
v. 8 / v. 9	nom / complément du nom
vv. 10 –14	4 enjambements successifs.

• Analyse : Idée de fuite, de rapidité ; procédé de mise en relief de la course effrénée des combattants.
b) rythmes significatifs : v. 30
v. 32 (rythme imitatif du goutte à goutte)
v. 41 (rythme heurté et fortement marqué : imitatif des coups de marteau).

Conclusion :

Texte intéressant dans la mesure où il explicite comment à la Renaissance on établit un lien entre la mythologie héritée de l'Antiquité et les signes astrologiques qui, selon Ronsard peuvent régler le corps et le destin des hommes. L'âme reste étrangère aux influences astrologiques : au XVIème siècle, les idées chrétiennes sont incontournables.

IV QUATRIEME EXTRAIT : *Petite Cosmogonie portative* (vv. 1- 79)

Brève présentation de l'œuvre et de l'auteur : Raymond Queneau est connu pour sa fantaisie et ses recherches sur le langage (nombreux sont les élèves de Seconde qui ont, au cours de leur scolarité, « croisé » quelques *Exercices de Style*). De plus, une rapide analyse du titre de l'œuvre (cf. cours de présentation) montre assez l'intention satirique de l'auteur. On pourra également évoquer l'incipit de *Zazie dans le métro* ou le travail de *l'Oulipo*.

Lecture méthodique

On partira, pour l'analyse de certains procédés du texte, du **projet de lecture** défini lors de la découverte de l'extrait : *en quoi les procédés mis en œuvre par l'auteur participent –ils à la dimension critique et satirique du texte ?*

A) Analyse du lexique

On demandera aux élèves de relever les occurrences lexicales qui sont inattendues dans une narration de la création du monde.

- Relevé:
    - lexique médical et scientifique
    - Registre grossier (v. 17)
    - Métaphores aux connotations triviales (v. 55) qui font contraste avec la personnification de la lune sous les traits de la belle *Séléné* (v. 57).
    - G N formés à l'aide d'un caractérisant surprenant (v. 4-20-42).
- Analyse : mélange des tons – visée comique de la démarche

B) Analyse des procédés lyriques

- Relevé :
    - recours à l'interjection lyrique *Ô* (v. 19-25-47)
    - métaphores (v. 6-12-18)
- Analyse : écriture parodique de la poésie scientifique et didactique.

C) Analyse de la syntaxe (vv.71-75)

On demandera aux élèves de repérer un passage du texte où les règles grammaticales habituelles sont particulièrement malmenées.

Accumulation à valeur satirique : juxtaposition de verbes au sens rare et littéraire (*ahanait*, *boutonnait*) et de verbes renvoyant à des attitudes communes (*haletait*) ou de formation populaire (*grognonnait*) ou encore de verbes créés par l'auteur (*germinait*, *drageonnait*) à partir de substantifs.

D) Analyse des sonorités

- la paronomase : vv.14-15 ; v.16
- les allitérations : v.35 ; v.62
- les assonances : vv.17-18

Ces sonorités sont imitatives du chaos. De plus, elles mettent en lumière la dimension satirique de cette poésie qui raille les procédés de la poésie scientifique et didactique.

Conclusion :

La lecture de cet extrait de poésie contemporaine pourra conduire à sensibiliser les élèves sur les récents travaux de la linguistique qui interrogent le pouvoir signifiant du langage.



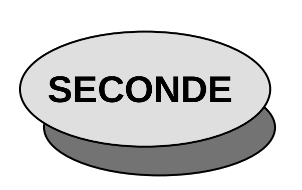




Les opérations de triangulation :

1. *Mesure de la base.*
2. *Mesures astronomiques de latitude et longitude.*
3. *Mesure des angles des triangles.*

Jules Verne
–
"Aventures de trois russes et de trois anglais dans l'Afrique australe"





PREMIERES MESURES

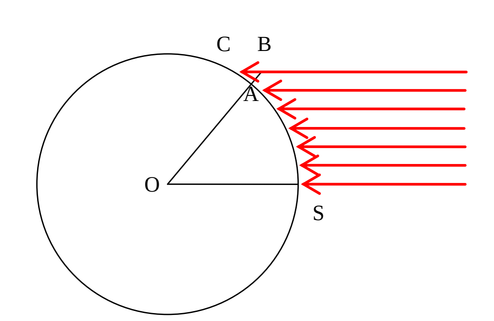
DU CIEL ET DE LA TERRE

" La philosophie est écrite dans ce très vaste livre qui est éternellement ouvert devant nos yeux - je veux dire l'Univers - mais on ne peut le lire avant d'avoir appris la langue et s'être familiarisé avec les caractères dans lesquels elle est écrite. Elle est écrite en langue mathématique et ses lettres sont des triangles, des cercles et d'autres figures géométriques, moyens sans lesquels il est humainement impossible de comprendre un seul mot, sans lesquels l'on erre en vain dans un obscur labyrinthe."

GALILEE.

I - Mesure de la Terre

1) La mesure d'Eratosthène : *Document 1*



a) Sur le schéma, A indique la position d'Alexandrie, S celle de Syène et AB représente le "style vertical" donnant l'ombre.

Rechercher dans le texte la valeur de l'angle $\widehat{CBA}$.

b) Justifier l'affirmation selon laquelle *"l'arc compris entre Syène et Alexandrie"* est de la même quantité que $\widehat{CBA}$.

c) En complétant le tableau de proportionnalité suivant,

angle	$\widehat{SOA} = 7°12'$	360°
arc de cercle	$5000 \times 157{,}5$	*L*

justifier que la circonférence *L* de la Terre est *"d'environ 250 000 stades"*.

c) Sachant qu'un *stade* vaut environ 157,5 m, en déduire une estimation du rayon terrestre *R*. Comparer à la valeur réelle à l'équateur : $R = 6378$ km.

2) La mesure de Picard : *Document 2*

a) Dans le triangle ABC, *Picard* mesure la "base" [AB] et les trois angles.
Soit H le pied de la hauteur issue de A. Calculer AH (en *toises*).

b) En déduire la valeur de AC et comparer avec celle obtenue par Picard (il y a 6 *pieds* dans une *toise*).

c) Justifier l'affirmation finale de *Picard* : "*il a été facile de conclure la distance GE* ". Effectuer le calcul, en sachant que la *toise de Paris* est égale à 1,949 m.

II - Mesure de la distance de la Terre à la Lune

Au troisième siècle avant notre aire, l'ingénieux *Aristarque de Samos* donna une bonne appréciation de la distance Terre-Lune, lors d'une éclipse totale de lune.
Des données sur ces éclipses sont fournies par le ***document 3***.

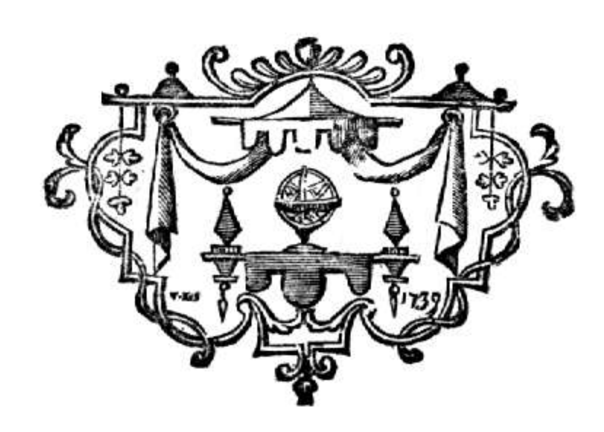
1) On admet que l'orbite de la Lune est circulaire et que les angles sont proportionnels aux temps (vitesse uniforme), ce qui est naturel chez les Grecs.
Sachant que les phases de la lune se reproduisent tous les 29,5 jours (mois lunaire), celle-ci parcourt son orbite autour de la Terre pendant le même temps.

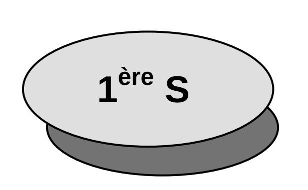
On note t la durée de l'éclipse, durant laquelle la Lune parcourt une distance supposée égale au diamètre $2R$ de la Terre.
Exprimer alors la distance TL (Terre/Lune) en fonction de la durée t (en jours) de l'éclipse et du rayon R de la terre.
2) En utilisant la durée t donnée dans le texte, donner une estimation de la distance entre la Terre et la Lune (on prendra $R = 6378$ km).
Comparer avec la valeur réelle de cette distance, qui varie entre 356 410 km et 406 697 km.

III - Mesure de la distance de la Terre au Soleil

Document 4

1) Quelle est la valeur, donnée dans le texte, pour *"l'angle à l'observateur"* $\widehat{STL}$?
2) En déduire que *"le Soleil est dix-neuf fois plus éloigné de nous, que la Lune"*.
3) Donner ainsi une estimation de la distance Terre-Soleil et comparer avec la distance moyenne réelle, qui est d'environ 149.10^6 km.
(L'erreur vient du fait qu'il est très difficile de déterminer l'instant où l'on voit exactement une demi-lune.)







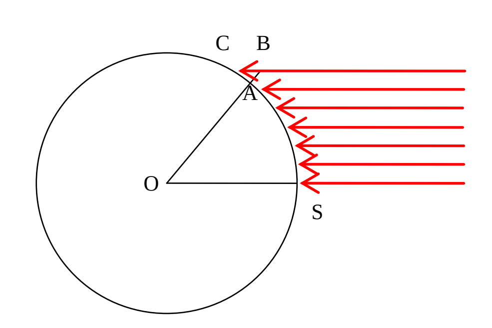
PREMIERES MESURES
DU CIEL ET DE LA TERRE

" La philosophie est écrite dans ce très vaste livre qui est éternellement ouvert devant nos yeux - je veux dire l'Univers - mais on ne peut le lire avant d'avoir appris la langue et s'être familiarisé avec les caractères dans lesquels elle est écrite. Elle est écrite en langue mathématique et ses lettres sont des triangles, des cercles et d'autres figures géométriques, moyens sans lesquels il est humainement impossible de comprendre un seul mot, sans lesquels l'on erre en vain dans un obscur labyrinthe."

GALILEE.

I - Mesure de la Terre

1) La mesure d'Eratosthène : *Document 1*



a) Sur le schéma, A indique la position d'Alexandrie, S celle de Syène et AB représente le "style vertical" donnant l'ombre.

Rechercher dans le texte la valeur de l'angle $\widehat{CBA}$.

b) Justifier l'affirmation selon laquelle *"l'arc compris entre Syène et Alexandrie"* est de la même quantité que $\widehat{CBA}$.

c) Justifier que la circonférence *L* de la Terre est *"d'environ 250 000 stades"*.

d) Sachant qu'un *stade* vaut environ 157,5 m, en déduire une estimation du rayon terrestre *R*.

Comparer à la valeur réelle à l'équateur : *R* = 6378 km.

2) La mesure de Picard : *Document 2*

a) Dans le triangle ABC, *Picard* mesure la "base" [AB] et les trois angles.

Calculer la valeur de AC et comparer avec celle obtenue par Picard (il y a 6 *pieds* dans une *toise*).

b) Justifier l'affirmation finale de *Picard* : "*il a été facile de conclure la distance GE* ". Effectuer le calcul, en sachant que la *toise de Paris* est égale à 1,949 m.

II - Mesure de la distance de la Terre à la Lune

1) La mesure d'Aristarque

Au troisième siècle avant notre aire, l'ingénieux *Aristarque de Samos* donna une bonne appréciation de la distance Terre-Lune, lors d'une éclipse totale de lune.

Des données sur ces éclipses sont fournies par le ***document 3***.

a) On admet que l'orbite de la Lune est circulaire et que les angles sont proportionnels aux temps (vitesse uniforme), ce qui est naturel chez les Grecs.

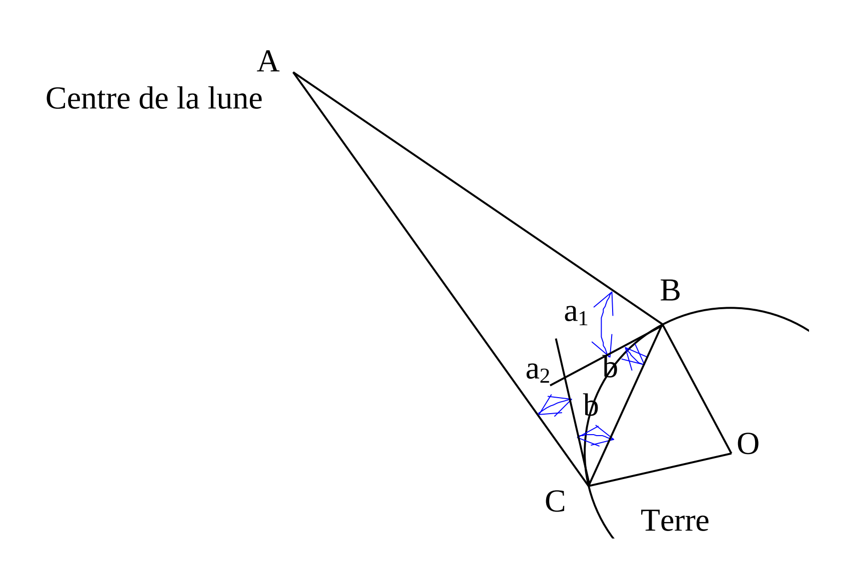
Sachant que les phases de la lune se reproduisent tous les 29,5 jours (mois lunaire), celle-ci parcourt son orbite autour de la Terre pendant le même temps.

On note *t* la durée de l'éclipse, durant laquelle la Lune parcourt une distance supposée égale au diamètre 2*R* de la Terre.

Exprimer alors la distance TL (Terre/Lune) en fonction de la durée *t* (en jours) de l'éclipse et du rayon *R* de la terre.
b) En utilisant la durée *t* donnée dans le texte, donner une estimation de la distance entre la Terre et la Lune (on prendra *R* = 6378 km).
Comparer avec la valeur réelle de cette distance, qui varie entre 356 410 km et 406 697 km.

2) Mesure par triangulation

Plus tard on mesura la distance Terre-Lune par triangulation : deux des sommets étant *Berlin* et *Le Cap* (*Afrique du Sud*), le troisième le centre de la Lune. Cette méthode améliora la précision. Elle fut effectuée par *Lacaille* et *De Lalande* en 1752.

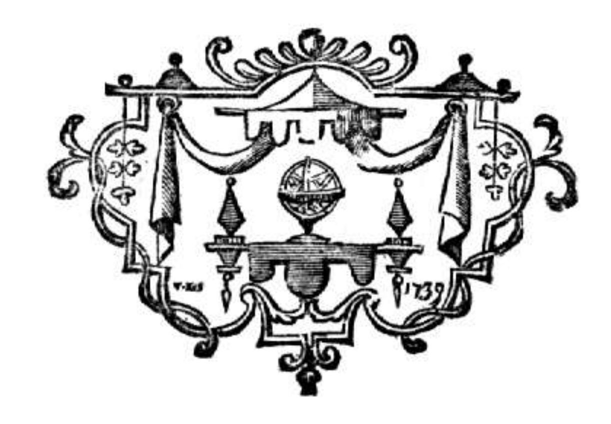


a) La latitude de *Berlin* est 52°30'N, celle du *Cap* est 33°55'S.
Calculer l'angle *b* et la distance BC (rayon terrestre moyen $R \approx 6367$ km).
b) Donner l'expression de la distance Terre-Lune AB, en fonction des angles a_1 et a_2, hauteurs de la Lune à *Berlin* et au *Cap*, mesurées sur le terrain, au même instant, quand la lune passe au méridien commun de ces deux villes.

III - Mesure de la distance de la Terre au Soleil

Document 4

1) Quelle est la valeur, donnée dans le texte, pour *"l'angle à l'observateur"* $\widehat{STL}$?
2) En déduire que *"le Soleil est dix-neuf fois plus éloigné de nous, que la lune"*.
3) Donner ainsi une estimation de la distance Terre-Soleil et comparer avec la distance moyenne réelle, qui est d'environ 149.10^6 km.
(L'erreur vient du fait qu'il est très difficile de déterminer l'instant où l'on voit exactement une demi-lune.)



Document 1 : Mesure de la Terre par ERATOSTHENE



Eratosthène (–275/–195), conservateur de la célèbre bibliothèque d'Alexandrie, est le premier à obtenir une valeur du rayon terrestre par une méthode réellement scientifique. L'idée, qui date de *Thalès*, est de mesurer un angle pour en déduire des rapports de distance.

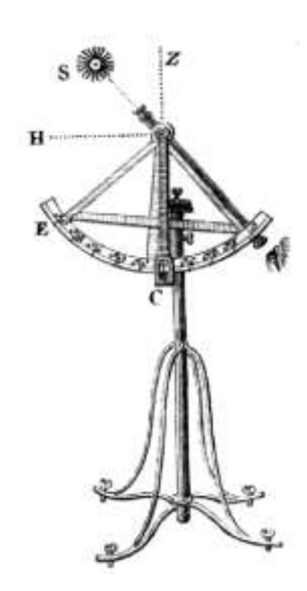
Voici le témoignage qu'en donne l'*Encyclopédie* de *Diderot* et *D'Alembert* (édition "méthodique" *1784*).

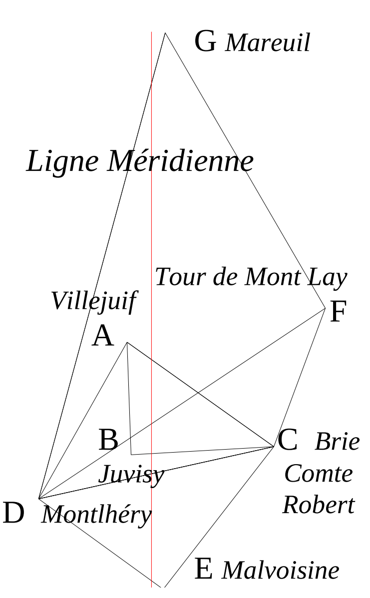
Les Sciences continuèrent de s'accroître rapidement chez les Grecs, dans les deux ou trois premiers ſiècles qui ſuivirent la mort d'Alexandre. Les libéralités des nouveaux Rois d'Egypte alloient chercher dans tous les pays du monde les ſavans les plus illuſtres, & les attiroient à Alexandrie. Conon y fit pluſieurs obſervations,
An. av. J. C. 295. qui ne ſont pas arrivées juſqu'à nous. Ariſtille & Tymocharis y déterminèrent la déclinaiſon des étoiles fixes, & rendirent par-là un ſervice eſſentiel à la Géographie & à la Navigation. Le célèbre
An. av. J. C. 276. Eratoſthène fit élever dans le portique du muſée d'Alexandrie, dont il étoit bibliothécaire, ces *Armilles* ſi fameuſes dans l'antiquité, & dont les Aſtronomes d'Alexandrie ſe ſervirent pour faire une immenſe quantité d'obſervations.

Il eſt le premier qui ait entrepris de calculer la circonférence d'un grand cercle de la terre. Ayant obſervé qu'à Syene, dans la haute Egypte, le ſoleil à midi, au ſolſtice d'été, éclairoit un puits dans toute ſa profondeur, & répondoit par conſéquent à ſon zénith, il établit à Alexandrie, qui eſt à-peu-près ſur le même méridien que Syene, un ſegment ſphérique, évidé, portant un ſtyle vertical, dont le ſommet répondoit au centre de courbure du ſegment ; & il trouva, avec cet inſtrument, qu'à midi, au ſolſtice d'été, il s'en falloit d'environ 7 degrés $\frac{1}{5}$, que le ſoleil n'atteignît le zénith d'Alexandrie. Ainſi, l'arc compris entre Syene & Alexandrie étoit de cette quantité. D'un autre côté, la diſtance de ces deux villes avoit été trouvée de 5000 ſtades. D'après ces élémens, la circonférence entière d'un grand cercle de la terre devoit être d'environ 250000 ſtades. Si l'on ſuppoſe, avec quelques auteurs modernes, que le ſtade d'Eratoſthène fut de $104\frac{12}{100}$ toiſes, cette valeur ſeroit de 11403 lieues, à raiſon de 2282 toiſes par lieue. Selon Pline, la circonférence de la terre eſt de 252000 ſtades romains, ce qui, à raiſon de 95 toiſes par ſtade romain, donneroit 10452 lieues.

Armilles : grands cercles servant au repérage des astres.
Syene : ville du sud de l'Egypte, aujourd'hui, *Assouan.*
Style : bâton donnant l'ombre au cadran solaire.
Stade : unité de longueur.

Document 2 : Mesure de la Terre par l'abbé PICARD





En 1668, ***l'abbé Picard*** met en œuvre une opération géodésique de grande envergure. Selon son rapport à l'Académie, "*outre que par ce moyen on aurait une carte la plus exacte qui ait encore été faite, on en tirerait cet avantage de pouvoir* ***déterminer la grandeur de la terre***".

Picard se servit des principes de la ***triangulation*** :

Il construisit une ***chaîne de treize triangles*** en partant d'une **base** mesurée sur le terrain (une deuxième base permettra une vérification) et complétée par des ***mesures d'angles*** à partir de points visibles les uns des autres (tours, clochers, ...). Ayant calculé la longueur totale d'un arc de méridien, il ne reste plus qu'à mesurer la latitude aux extrémités pour savoir de quelle fraction de méridien il s'agit.

Picard conçoit lui même ses instruments de mesure et, le premier, va utiliser une lunette munie d'un réticule.

34 *Meſure de la Terre,*

qui ne donnoient les minutes que de ſix en ſix, ils n'ont pas laiſſé d'approcher de la juſteſſe autant qu'il étoit néceſſaire, pour faire voir qu'on ne s'étoit pas trompé aux concluſions.

I. TRIANGLE ABC.
Pour connoître le côté AC.

C A B.......54°....4'...35".
A B C.......95.....6....55.
A C B.......30...48....30.
A B.......5663..*Toiſes de meſure actuelle.*
Donc A C.....11012..*Toiſes* 5 *pieds.*
Et B C.......8954...*Toiſes.*

II. TRIANGLE ADC.
Pour DC *&* AD.

D A C.......77°....25'..50".
A D C.......55.......0...10.
A C D.......47.....34.....0.
A C.....11012..*Toiſes* 5 *pieds.*
Donc D C.....13121..*Toiſes* 3 *pieds.*
Et A D.......9922..*Toiſes* 2 *pieds.*

III. TRIANGLE DEC.
Pour DE *&* CE.

D E C.......74°....9'..30".
D C E.......40...34.....0.
C D E.......65...16...30.
D C.....13121...*Toiſes* 3 *pieds.*
Donc D E.......8870...*Toiſes* 3 *pieds.*
Et C E.....12389...*Toiſes* 3 *pieds.*

par M. l'Abbé Picard. 35

IV. TRIANGLE DCF.
Pour DF.

D C F.......113°....47'...40".
D F C.......33.....40......0.
F D C.......32.....32....20.
D C.....13121.....*Toiſes* 3 *pieds.*
Donc D F.......21658.....*Toiſes.*

Notez que dans ce quatriéme triangle, l'angle DFC a été augmenté de 10", qui manquoient à la ſomme des trois angles.

V. TRIANGLE DFG.
Pour DG *&* FG.

D F G.......92°....5'...20".
D G F.......57....34.....0.
G D F.......30....20....40.
D F.......21658....*Toiſes.*
Donc D G.......25643....*Toiſes.*
Et F G.......12963....*Toiſes* 3 *pieds.*

Enſuite de ces cinq triangles, il a été facile de conclure la diſtance GE entre Malvoiſine & Mareuil, ſans ſuppoſer aucune nouvelle Obſervation.

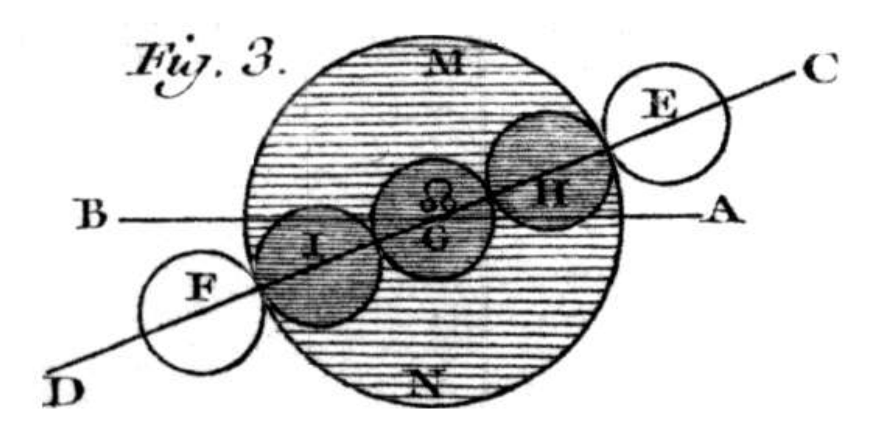
Document 3 : Mesure par ARISTARQUE de la distance Terre-Lune lors d'une éclipse de lune

"Institutions astronomiques" (1746).

Soit un cercle *MN* qui repréſente la coupe ou ſection perpendiculaire du cone de l'ombre terreſtre, ſoit auſſi une partie de l'orbite de la Lune repréſentée par *CD*. Cette portion de ſon orbite que la Lune parcourt au tems de ſon oppoſition n'étant pas d'une grandeur bien conſidérable, on peut ſans erreur ſenſible la repréſenter par une ligne droite. Imaginons encore que la droite *BGA* repréſente une partie de l'Ecliptique. Cela ſuppoſé, ſi l'on conçoit maintenant le centre de la Lune au point *F*, ſçavoir au premier inſtant qu'elle commence à entrer dans l'ombre, & ſi l'on obſerve enſuite ce même centre au point *E* où la Lune doit paroître ſortir entierement de l'ombre, ce centre aura néceſſairement paſſé au point *G* dans l'axe de l'ombre de la Terre, & c'eſt-là préciſément ce que l'on appelle Eclipſe totale & centrale. Ces ſortes d'Eclipſes n'arrivent donc que quand les centres de la Lune & de l'ombre ſe rencontrent préciſément dans l'un ou l'autre nœud, ce qui eſt un cas fort rare. Il faut auſſi remarquer que la plus grande durée d'une Eclipſe de Lune ſe doit connoître par le tems que le centre de la Lune emploie à parcourir l'arc *EF* qui eſt égal à 3 ou 4 diametres de Lune, ou environ deux degrés. Cet arc *EF* repréſente le mouvement de la Lune par rapport à celui de l'ombre de la Terre ; & ce mouvement ne s'acheve ordinairement que dans l'eſpace d'environ quatre heures.

PLANCHE III. *Figure* 3.

Des Eclipſes totales & centrales.



Lune en *opposition* : pleine lune.
Ecliptique : parcours apparent du Soleil durant l'année (lieu où doit se trouver la Lune pour que se produise une éclipse).
Nœuds de l'orbite lunaire : points où l'orbite lunaire rencontre le plan de l'écliptique.

Document 4 : Mesure par ARISTARQUE de la distance Terre-Soleil

Extrait de *"L'exposition du système du monde"* de *Laplace* (édition 1824)

Aristille et Timocharis furent les premiers observateurs de l'école d'Alexandrie : ils fleurirent vers l'an 300 avant notre ère. Leurs observations sur la position des principales étoiles du zodiaque, firent découvrir à Hipparque, la précession des équinoxes, et servirent de base à la théorie que Ptolémée donna de ce phénomène.

Le premier Astronome que cette école nous offre après eux, est Aristarque de Samos. Les élémens les plus délicats de l'Astronomie, paraissent avoir été l'objet de ses recherches : malheureusement elles ne sont point parvenues jusqu'à nous. Le seul de ses ouvrages qui nous reste, est son Traité *des grandeurs et des distances du soleil et de la lune*, dans lequel il expose la manière ingénieuse dont il essaya de déterminer le rapport de ces distances. Aristarque mesura l'angle compris entre les deux astres, au moment où il jugea l'exacte moitié du disque lunaire, éclairée. A cet instant, le rayon visuel mené de l'œil de l'observateur, au centre de la lune, est perpendiculaire à la ligne qui joint les centres de la lune et du soleil ; ayant donc trouvé l'angle à l'observateur, plus petit que l'angle droit, d'un trentième de cet angle ; il en conclut que le soleil est dix-neuf fois plus éloigné de nous, que la lune ; résultat qui malgré son inexactitude, reculait les bornes de l'univers,

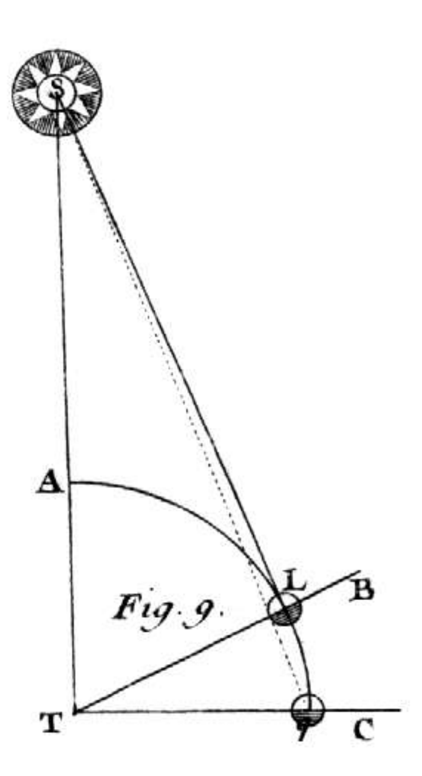


Figure provenant des *"Institutions astronomiques"* de 1746.

Corrigé et compte-rendu de l'activité
"PREMIERES MESURES DU CIEL ET DE LA TERRE"

CORRIGE DE LA VERSION "SECONDE"

I – MESURE DE LA TERRE

1) La mesure d'Eratosthène

a) L'angle $\widehat{ABC}$ est égal à celui mesurant l'écart des rayons solaires avec le zénith. Donc, d'après le texte, on a $\widehat{ABC}$ = 7°1/5 = **7,2°**.
b) Les droites (OS) et (BC) étant parallèles, elles sont sécantes à (OB) en formant le même angle interne-alterne : SÔA = $\widehat{ABC}$ = 7,2°.
c) On a, par proportionnalité de l'angle au centre et de l'arc correspondant du cercle :
$\frac{L}{360} = \frac{5000}{7,2}$. D'où *L* = 250 000 stades.
d) On a *L* = 2π*R* = 39 375 km, d'où R ≈ **6267 km**.

Cette valeur est très proche de la valeur réelle, l'erreur relative étant : $\frac{6378 - 6267}{6378} \approx 0,017$ soit moins de 2 % (encore qu'on ne soit pas certain de la valeur à attribuer au *stade* égyptien).

2) La mesure de Picard

a) D'après le texte, on a :
AB = 5663 toises, Â ≈ 54,076°, $\hat{B}$ ≈ 95,115° et $\hat{C}$ ≈ 30,808°.
Dans le triangle ABH, rectangle en H, on obtient :
AH = AB sin A$\hat{B}$H = 5663 sin(180° - 95,115) ≈ **5640,4 *toises***.
b) Dans le triangle AHC, rectangle en H, on peut en déduire : AC = $\frac{AH}{\sin\hat{C}} \approx \frac{5640,4}{\sin 30,808°}$.
Ainsi AC ≈ 11 012,9 *toises*. On retrouve donc bien les 11 012 *toises* 5 *pieds* obtenus par Picard, à un *pied* près.
c) Pour le calcul de GE, on procède de façon analogue dans le triangle DGE.
Les données sont : GD = 25 643 *toises*, DE = 8870,5 *toises* et G$\hat{D}$E = 128,158°.
Soit H le pied de la hauteur issue de G.
On a GH = GD sin(180 – 128,158), puis DH = DG cos(180 – 128,158).
Le théorème de ***Pythagore*** dans le triangle GHE, rectangle en H, donne alors GE ≈ **31 895,5 *toises*** c'est à dire 31 895 *toises* et 3 *pieds*, soit encore, GE ≈ **62 164,33 m**.

II – Distance Terre-Lune

1) Si l'on considère que la distance est proportionnelle au temps, on a :
$\frac{2\pi \times TL}{29,5} = \frac{2R}{t}$ d'où $\boxed{TL = \frac{29,5R}{\pi t}}$.
2) En prenant *t* ≈ 4 h soit $\frac{4}{24}$ jours, on obtient **TL** ≈ $\frac{29,5 \times 6378 \times 24}{\pi \times 4}$ ≈ **359 342 km**.
C'est une bonne estimation de la distance Terre Lune (entre 356 410 km et 406697 km).

II – Distance Terre-Soleil

1) L'angle à l'observateur (du Soleil) vaut $\widehat{STL} \approx 90° - \frac{1}{30}90°$ ≈ **87°**.
2) Dans le triangle TLS, rectangle en L, on a : cos 87° = $\frac{TL}{TS}$ d'où TS ≈ 19,1 × TL.
La mesure d'*Aristarque* donnerait donc TS ≈ 7 250 000 km, ce qui paraissait énorme mais encore loin de 149 000 000 km.

Il faudra attendre 17 siècles pour avoir une valeur correcte de la distance Terre-Soleil, faisant appel à la 3ème loi de *Kepler*.

CORRIGE DE LA VERSION "1ère S"

Le théorème d'Al-Kashi ou la loi des sinus, permettent une résolution rapide des triangles.

I - 2) Mesure de Picard

a) En utilisant la **formule des sinus**, on a : $\frac{AC}{\sin\hat{B}} = \frac{AB}{\sin\hat{C}}$

d'où AC = AB $\frac{\sin\hat{B}}{\sin\hat{C}}$ = 5663 $\frac{\sin 95°6'55''}{\sin 30°48'30''}$. Ainsi **AC ≈ 11 012,89 toises**. On retrouve donc bien les 11 012 toises 5 pieds obtenus par *Picard*.
b) Pour le calcul de GE, on utilise la **formule du cosinus** (Théorème d'Al Kashi) dans le triangle GED :
$GE^2 = DG^2 + DE^2 - 2\, DG \times DE \times \cos E\hat{D}G$.
D'après le document de *Picard*,
DG = 25 643 toises, DE = 8 870,5 toises, et
$E\hat{D}G = E\hat{D}C + C\hat{D}F + F\hat{D}G$ = 65°16'30''+32°32'20''+30°20'40'' = 128°9'30''.
On en déduit que :
$GE^2 = 25643^2 + 8870{,}5^2 - 2 \times 25643 \times 8870{,}5 \times \cos(128°9'30'')$.
D'où **GE ≈ 31 895,5 *toises*** c'est à dire GE ≈ **62 164,33 m**

II - 2) Mesure Terre-Lune par triangulation
a) Dans le triangle isocèle OBC, l'angle en O correspond à la différence de latitude, soit 86°25'.

On a alors ***b*** = 90° - $\frac{180° - 86°25'}{2}$ = **43°12'30''**.

D'après la **formule des sinus** dans OBC, on a : $\frac{BC}{\sin 86°25'} = \frac{6367}{\sin 46°47'30''}$.

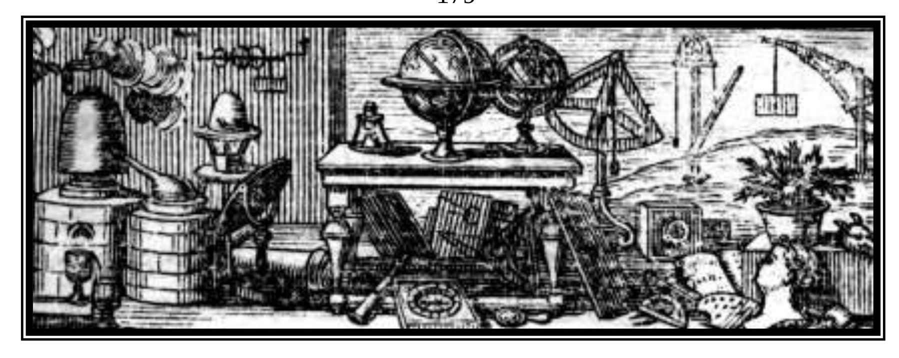
D'où **BC** ≈ **8718 km**.

b) D'après la **formule des sinus**, $\frac{BC}{\sin(180° - (a_1 + a_2 + 2b))} = \frac{AB}{\sin(a_2 + b)}$.

COMPTE-RENDU D'ACTIVITE
- En seconde, ce travail a fait l'objet d'un devoir à la maison.
- En 1ère S, les élèves ont travaillé, en module, par groupes de trois, fournissant un compte-rendu. Durée : 2h. La typographie et l'orthographe ont suscité questions et intérêt. Une certaine fébrilité a été observée : documents étalés, calculatrices en batterie, méthodes de calcul très discutées. La réussite a été bonne quant aux principes utilisés. Il y a eu quelques erreurs dues aux unités (heures, jours, angles en minutes secondes).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Michelle GREGOIRE et Marie-Françoise JOZEAU – "*La mesure du méridien"* – Revue *Mnémosyne* n°12 – Groupe M:A.T.H. – En vente par correspondance à l'IREM Paris VII
Tour 56/55 - 3ème étage - Case 7018 - 2, place Jussieu - 75251 Paris Cedex 05 .
"Histoires de problèmes / Histoire des mathématiques" – IREM – Ellipses 1993.
"Terre et espace" – Hors série n° 5 de Tangente – Ellipse 1998.



LA TROISIEME LOI DE KEPLER



"Les travaux de Kepler montrent que la connaissance ne peut dériver de l'expérience seule : il lui faut la comparaison de ce que l'esprit a conçu avec ce qu'il observe."

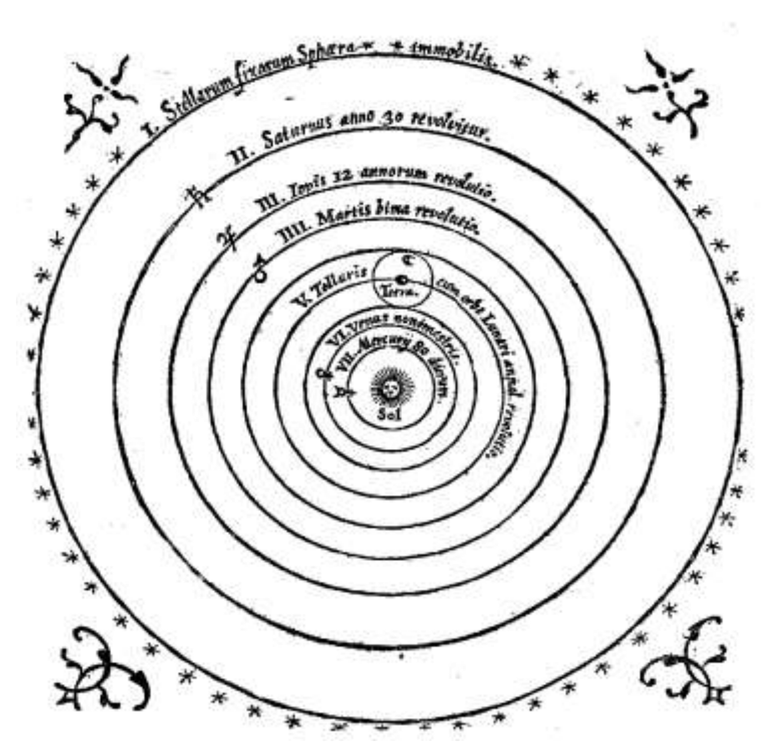
EINSTEIN

Objectifs

Tout au long de sa vie, Kepler (1571/1630) chercha à percer le mystère de l'Univers, à en trouver "l'harmonie" cachée.

L'objet de ce TP est de retrouver et d'exploiter, à l'aide du tableur Excel, la loi découverte par Kepler entre la ***période T*** d'une planète du système solaire, et sa ***distance moyenne r au Soleil***.

Kepler (qui n'avait pas de tableur !) mis 17 ans (entre 1601 et 1618) pour établir ses lois.



Représentation du système de Copernic, à l'époque de Kepler

I - RECHERCHE SUR LES SIX PLANETES CONNUES DE KEPLER

Vous allez considérer les six planètes ("principales", les satellites, comme la Lune, ne sont pas pris en compte) connus à l'époque de Kepler.

B2 = 57900000

	A	B	C
1	Planètes	r	T
2	Mercure	5,79E+07	7,60E+06
3	Vénus	1,08E+08	1,94E+07
4	Terre	1,49E+08	3,16E+07
5	Mars	2,28E+08	5,94E+07
6	Jupiter	7,78E+08	3,74E+08
7	Saturne	1,42E+09	9,30E+08

Lancer Excel®. Sélectionner les cellules de A1 à C7, cliquer sur l'icône ***centré***, puis entrer le tableau des données (*r* en km et *T* en s) ci-contre.

Que l'on compare maintenant le tems que toutes les Planetes emploient à faire leurs révolutions, avec leurs distances moyennes au Soleil, l'on y reconnoîtra bientôt une harmonie & une proportion admirable : car plus la Planete est proche du Soleil, plus son mouvement paroît rapide, sa révolution périodique s'achevant beaucoup plus vîte que celle des autres Planetes.

Harmonie merveilleuse entre les distances des Planetes au Soleil & leurs tems périodiques.

"Institutions astronomiques" - 1746

1) Représentation graphique

Sélectionner les cellules de B2 à C7, puis cliquer sur l'icône de l'***Assistant graphique***.
Etape 1/4 : choisir ***Nuages de points*** (1er sous-type) puis cliquer sur ***Suivant***.
Etape 2/4 : cliquer sur ***Suivant***.
Etape 3/4 :
Onglet ***Légende*** :
désactiver l'option ***Afficher la légende***.
Onglet ***Quadrillage*** :
supprimer tout quadrillage.
Onglet ***Titres*** :
entrer le titre du graphique (Les 6 planètes de Kepler), ainsi que celui de l'axe des abscisses (Distance r au Soleil (en km)) et des ordonnées (Période T (en s)).
Cliquer sur ***Suivant***.
Etape 4/4 : choisir • ***sur une nouvelle feuille Graph1*** puis cliquer sur ***Terminer***.

– Compléter la feuille réponse.

2) Recherche empirique d'une loi entre *r* et *T*

On recherche entre *r* et *T* un rapport constant du type $\frac{T^n}{r^p}$ = constante, où *n* et *p* sont des entiers naturels. On peut constater que *n* = *p* = 1, ne convient pas. Vous allez essayer *n* = 1 avec *p* = 2 ; 3 ou 4 puis *n* = 2 avec *p* = 2 ; 3 ou 4.

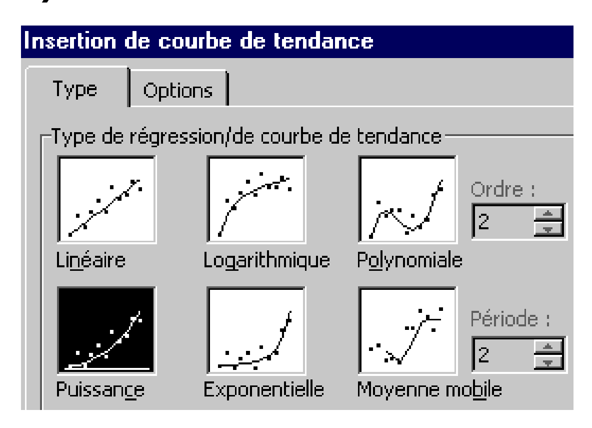
En D1, taper "T/r^2" (on obtient le symbole ^ de puissance, en faisant simultanément ALT GR et ç).
En D2, entrer la ***formule*** (les formules doivent commencer par =) =C2/B2^2
Cliquer dans la cellule D2 et approcher le pointeur de la souris du coin inférieur droit de la

cellule. Quand le pointeur se transforme en une croix noire, enfoncer le bouton gauche de la souris et glisser jusqu'en D7 pour ***recopier vers le bas*** la formule.

Procéder de même dans les colonnes E à J, pour calculer $\frac{T}{r^3}$; $\frac{T}{r^4}$; $\frac{T^2}{r}$; $\frac{T^2}{r^2}$; $\frac{T^2}{r^3}$; $\frac{T^2}{r^4}$.

– Compléter la feuille réponse.

3) Obtention d'une "courbe de tendance"



Cliquer sur l'onglet ***Graph1***, puis, cliquer avec le *bouton droit* de la souris sur un des points du graphique et cliquer sur ***Ajouter une courbe de tendance...***
Dans l'onglet ***Type***, choisir ***Puissance***.
Dans l'onglet Options, cocher Afficher l'équation sur le graphique.
Cliquer sur ***OK***.
Si l'équation est peu lisible, cliquer dessus et augmenter la taille de la police (rappel : r est en x et T en y).

– Compléter la feuille réponse.

II - URANUS, NEPTUNE, PLUTON

1) Calcul de la distance Soleil - Uranus

En 1781, ***Herschel*** découvre la planète Uranus, dont on peut observer que la période de révolution est $T = 2{,}66 \cdot 10^9$ s.
Si l'on admet que la troisième loi de Kepler est bien valable, celle-ci va permettre de connaître la distance r entre le Soleil et Uranus (ce qui est difficile, sinon, à mesurer).

– Calculer sur la feuille réponse, la valeur de r correspondante.

2) Valeurs de $\frac{T^2}{r^3}$, calculées pour Uranus, Neptune et Pluton

Des mesures astronomiques ont donné, pour Uranus, Neptune et Pluton les résultats suivants :

Planètes	Distance r au Soleil (km)	Période T de révolution (s)
Uranus	$2{,}87 \cdot 10^9$	$2{,}66 \cdot 10^9$
Neptune	$4{,}50 \cdot 10^9$	$5{,}20 \cdot 10^9$
Pluton	$5{,}91 \cdot 10^9$	$7{,}82 \cdot 10^9$

Calculer, à l'aide d'Excel, les rapports $\frac{T^2}{r^3}$ correspondants.

– Compléter la feuille réponse.

III - SATELLITES DE JUPITER

40 INSTITUTIONS

Grande Regle ou Loi de Kepler.

Selon cette loi générale, *les Quarrés des tems périodiques ſont toujours proportionnels aux cubes des diſtances au Soleil.* Le fameux Kepler l'avoit d'abord appliquée aux Planetes principales : mais cette belle découverte s'eſt étendue dans la ſuite à toutes les autres Planetes. Car les Satellites de Saturne & de Jupiter ſuivent exactement cette loi ; c'eſt-à-dire, que les tems de leurs révolutions périodiques ſe ſont trouvés tellement réglés, que les Quarrés de ces mêmes tems ſont toujours proportionnels aux cubes des diſtances au centre de leur Planete principale.



Découverts par Galilée le 7 janvier 1610, les quatre satellites de Jupiter ont les caractéristiques suivantes :

Satellite de Jupiter	Distance r à Jupiter (en km)	Période T de révolution autour de Jupiter (en s)
Io	$4{,}22 \cdot 10^{5}$	$1{,}53 \cdot 10^{5}$
Europe	$6{,}71 \cdot 10^{5}$	$3{,}07 \cdot 10^{5}$
Ganymède	$1{,}07 \cdot 10^{6}$	$6{,}19 \cdot 10^{5}$
Callisto	$1{,}88 \cdot 10^{6}$	$1{,}44 \cdot 10^{6}$

Calculer, à l'aide d'Excel, les rapports $\frac{T^2}{r^3}$, pour les satellites de Jupiter.

– Compléter la feuille réponse.

Reproduction des premières observations de Galilée

Newton a expliqué le premier la vraie cauſe phyſique de cette regle de Kepler.

Quoique Kepler ait fait cette admirable découverte, il s'en falloit bien cependant qu'il en connût la cauſe phyſique : auſſi n'avoit-il établi cette loi qu'après avoir conſidéré une longue ſuite de diſtances des Planetes au Soleil, comparées au tems de leurs révolutions périodiques. Le grand Newton nous a enfin donné la vraie raiſon phyſique de cette loi, les principes dont il étoit parti lui en ayant fait connoître la vraie cauſe : elle eſt de telle nature, que toute autre loi ne ſçauroit avoir lieu ſi l'on admet les premiers principes & les plus évidens de toute la Phyſique.

– FEUILLE REPONSE

NOMS : **..**

I - RECHERCHE SUR LES SIX PLANETES CONNUES DE KEPLER

1) Représentation graphique

D'après le graphique, la période de révolution T est-elle proportionnelle à la distance r de la planète au Soleil ?

....

....

....

....

2) Recherche empirique d'une loi entre *r* et *T*

Pour quelles valeurs de n et p le rapport $\frac{T^n}{r^p}$ est-il, à peu près, constant ?

....

....

Pourquoi, d'après vous, la "constante" n'est-elle pas exactement constante ? ....

....

....

....

En arrondissant cette "constante" à 10^{-10} près, exprimer la relation qu'il existe entre T et r :

....

....

En déduire une expression de T en fonction de r : $T = f(r)$.

....

....

....

....

3) Obtention d'une "courbe de tendance"

Quelle est l'équation de la courbe calculée par Excel ?

....

....

En admettant que $\sqrt{x} = x^{\frac{1}{2}}$, comparer cette formule avec celle que vous avez déterminée pour la fonction f .

....

....

....

....

II - URANUS, NEPTUNE, PLUTON

1) Calcul de la distance Soleil - Uranus

Si l'on admet que $T^2 = 3.10^{-10} \times r^3$, en observant que T = 2,66 . 10 ^{9} s, on peut calculer

$r^3 = \frac{\quad}{\quad}$ d'où $r = \left(\frac{\quad}{\quad}\right)^{\frac{1}{3}} \approx$ .... (arrondir à un million de km près).

2) Valeurs de $\frac{T^2}{r^3}$, calculées pour Uranus, Neptune et Pluton

Planètes	Distance r au Soleil (km)	Période T de révolution (s)	$\frac{T^2}{r^3}$
Uranus	2,87 . 10 ^{9}	2,66 . 10 ^{9}	
Neptune	4,50 . 10 ^{9}	5,20 . 10 ^{9}	
Pluton	5,91 . 10 ^{9}	7,82 . 10 ^{9}	

La 3ème loi de Kepler est-elle validée par ces résultats ? ....
....

III - SATELLITES DE JUPITER

Satellite de Jupiter	Distance r à Jupiter (en km)	Période T de révolution autour de Jupiter (en s)	$\frac{T^2}{r^3}$
Io	4,22 . 10 ^{5}	1,53 . 10 ^{5}	
Europe	6,71 . 10 ^{5}	3,07 . 10 ^{5}	
Ganymède	1,07 . 10 ^{6}	6,19 . 10 ^{5}	
Callisto	1,88 . 10 ^{6}	1,44 . 10 ^{6}	

Que remarque-t-on sur les satellites de Jupiter ? Expliquer.

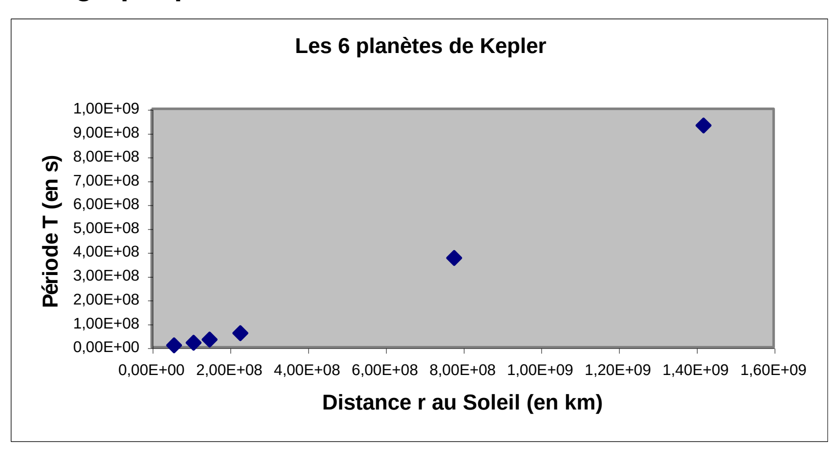
....
....
....
....
....
....

Imprimer le graphique ou enregistrer votre fichier sur disquette

Corrigé et compte-rendu de l'activité "LA TROISIEME LOI DE KEPLER"

I - RECHERCHE SUR LES SIX PLANETES CONNUES DE KEPLER

1) Représentation graphique



Il est clair que les six points ne sont pas alignés, *T* n'est donc pas proportionnel à *r*. Il faut chercher une autre loi.

Remarque : il y a discontinuité des graduations au niveau de l'origine (0 , 0). Ce petit défaut est sans importance.

2) Recherche empirique d'une loi entre *r* et *T*

Excel fournit les résultats suivants :

T/r^2	T/r^3	T/r^4	T^2/r	T^2/r^2	T^2/r^3	T^2/r^4
2,27E-09	3,92E-17	6,76E-25	9,98E+05	1,72E-02	2,98E-10	5,14E-18
1,66E-09	1,54E-17	1,43E-25	3,48E+06	3,23E-02	2,99E-10	2,77E-18
1,42E-09	9,55E-18	6,41E-26	6,70E+06	4,50E-02	3,02E-10	2,03E-18
1,14E-09	5,01E-18	2,20E-26	1,55E+07	6,79E-02	2,98E-10	1,31E-18
6,18E-10	7,94E-19	1,02E-27	1,80E+08	2,31E-01	2,97E-10	3,82E-19
4,61E-10	3,25E-19	2,29E-28	6,09E+08	4,29E-01	3,02E-10	2,13E-19

On en déduit que $\frac{T^2}{r^3} = 3.10^{-10}$ (en arrondissant la "constante" à 10^{-10} près).

On a donc $T^2 = 3.10^{-10} \times r^3$ puis $T = \sqrt{3}.10^{-5} \times \sqrt{r^3} = f(r)$.

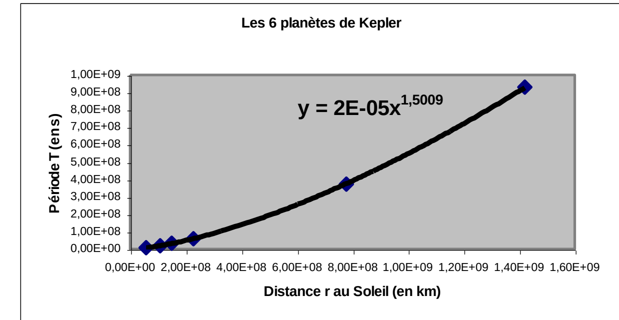
La question de savoir, pourquoi la "constante" mesurée n'est pas constante, renvoie plus généralement, à la notion de "*modèle mathématique*". La raison principale est, qu'ici, on néglige l'influence des autres planètes.

3) Obtention d'une "courbe de tendance"

Excel affiche une courbe d'équation :

$y = 2.10^{-5} x^{1,5009}$ (il s'agit d'un ajustement selon la méthode des moindres carrés).

En admettant que $\sqrt{x} = x^{\frac{1}{2}}$, cette équation est assez comparable à la formule de *f*.



II - URANUS, NEPTUNE, PLUTON

1) Calcul de la distance Soleil - Uranus

On a $r^3 = \frac{2{,}66^2.10^{28}}{3}$ d'où $r = \left(\frac{2{,}66^2.10^{28}}{3}\right)^{\frac{1}{3}} \approx 2868.10^6$ km.

2) Valeurs de $\frac{T^2}{r^3}$, calculées pour Uranus, Neptune et Pluton

Planètes	Distance r au Soleil (km)	Période T de révolution (s)	$\frac{T^2}{r^3}$
Uranus	$2{,}87 . 10^9$	$2{,}66 . 10^9$	2,99E-10
Neptune	$4{,}50 . 10^9$	$5{,}20 . 10^9$	2,97E-10
Pluton	$5{,}91 . 10^9$	$7{,}82 . 10^9$	2,96E-10

Les résultats calculés confirment la 3ème loi de Kepler, sans pour autant la démontrer.

III - SATELLITES DE JUPITER

Satellite de Jupiter	Distance r à Jupiter (en km)	Période T de révolution autour de Jupiter (en s)	$\frac{T^2}{r^3}$
Io	$4{,}22 . 10^5$	$1{,}53 . 10^5$	3,11E-07
Europe	$6{,}71 . 10^5$	$3{,}07 . 10^5$	3,12E-07
Ganymède	$1{,}07 . 10^6$	$6{,}19 . 10^5$	3,13E-07
Callisto	$1{,}88 . 10^6$	$1{,}44 . 10^6$	3,12E-07

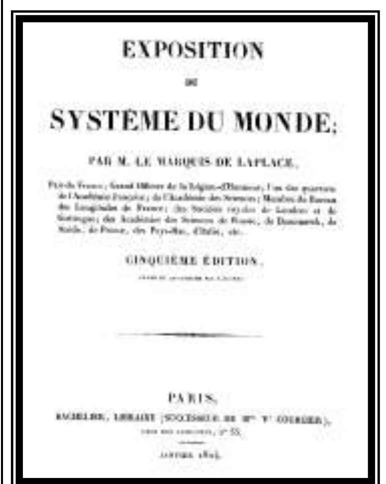
La constante est ici d'environ $3{,}1.10^{-7}$. Celle-ci dépend donc de l'astre autour duquel s'effectue la rotation.
Il faut connaître la théorie de la gravitation universelle, de Newton, pour avoir une expression de cette "constante" en fonction des masses des astres.

COMMENTAIRES PEDAGOGIQUES

Organisation du TP :
Le TP dure 1h30, pendant une séance en demi-classe.
Les élèves sont en salle informatique, au plus deux par ordinateur. Ils remettent, à la fin de la séance, une "feuille réponse" par machine. Le travail est noté (avec un coefficient faible).
Une correction (rapide) est faite lors du retour des copies, en classe entière.
Les objectifs :
• On est au début de l'***étude des fonctions***, dans une situation physique (qui, on l'espère, a un ***sens*** assez ***concret***), en présence de ***phénomènes variables*** : la période de révolution augmente lorsque la distance au Soleil augmente.
Il s'agit d'abord de "tordre le cou" à la proportionnalité, qui n'est pas la seule loi possible. On recherche ensuite *une* expression de la fonction.
• En "mathématisant" un cas concret, on ***modélise***. L'objectif est de faire (un peu) comprendre cette notion, lors de la correction, après l'analyse des réponses apportées à la question "ouverte" : "Pourquoi, d'après vous, la "constante" n'est-elle pas exactement constante ? ".
La réponse correcte (on néglige l'influence des autres planètes, en ne prenant en compte que "deux corps" : la planète étudiée et le Soleil), inconnue des élèves, n'a pas été rencontrée. Une majorité pense que *"les données ne sont pas tout à fait exactes"* (erreurs de mesures, arrondis...). Quatre groupes dans la classe font cette réponse étrange que *"l'Univers n'est pas parfait, il a des défauts"*, renversant ainsi la modélisation (l'Univers est une dégénérescence imparfaite du modèle). Quelques groupes estiment que les différences proviennent du fait que *"les planètes forment une ellipse autour du Soleil, et non un cercle"*, ce qui rejoint bien le caractère approximatif d'un modèle.
On mettra en évidence qu'un modèle est une approximation de la réalité ,avec, de plus, la précision, toujours relative, des mesures.
Par ailleurs, il n'y a pas un seul modèle possible (*une* vérité mathématique, reflet conforme de la réalité physique). Kepler avait en tête, *avant* de partir en quête de sa loi, qu'il existait une formulation mathématique simple. Mais que l'on songe à l'hypothétique planète "Vulcain"

dont l'existence fut supposée suite aux perturbations observée sur Mercure, et pour lesquelles une explication fut apportée par le modèle de la relativité générale d'Einstein.
On peut verser au dossier ces extraits de l' "*Exposition du système du Monde*" de *Laplace* (édition de 1824) :

Préambule :


EXPOSITION

DU

SYSTÈME DU MONDE;

PAR M. LE MARQUIS DE LAPLACE,

CINQUIÈME ÉDITION,

PARIS,

De toutes les sciences naturelles, l'Astronomie est celle qui présente le plus long enchaînement de découvertes. Il y a extrêmement loin de la première vue du ciel, à la vue générale par laquelle on embrasse aujourd'hui les états passés et futurs du système du monde. Pour y parvenir, il a fallu observer les astres pendant un grand nombre de siècles; reconnaître dans leurs apparences, les mouvemens réels de la terre; s'élever aux lois des mouvemens planétaires, et de ces lois, au principe de la pesanteur universelle; redescendre enfin de ce principe, à l'explication complète de tous les phénomènes célestes, jusque dans leurs moindres détails. Voilà ce que l'esprit humain a fait dans l'Astronomie. L'exposition de ces découvertes et de la manière la plus simple dont elles ont pu naître et se succéder, aura le double avantage d'offrir un grand ensemble de vérités importantes, et la vraie méthode qu'il faut suivre dans la recherche des lois de la nature. C'est l'objet que je me suis proposé dans cet Ouvrage

A propos des lois de Kepler :

Sans les spéculations des Grecs sur les courbes que forme la section du cône par un plan, ces belles lois seraient peut-être encore ignorées. L'ellipse étant une de ces courbes, sa figure oblongue fit naître dans l'esprit de Képler, la pensée d'y mettre en mouvement, la planète Mars; et bientôt, au moyen des nombreuses propriétés que les anciens Géomètres avaient trouvées sur les sections coniques, il s'assura de la vérité de cette hypothèse. L'histoire des sciences nous offre beaucoup d'exemples de ces applications de la Géométrie pure, et de ses avantages; car tout se tient dans la chaîne immense des vérités, et souvent une seule observation a suffi pour féconder les plus stériles en apparence, en les transportant à la nature dont les phénomènes ne sont que les résultats mathématiques d'un petit nombre de lois immuables.

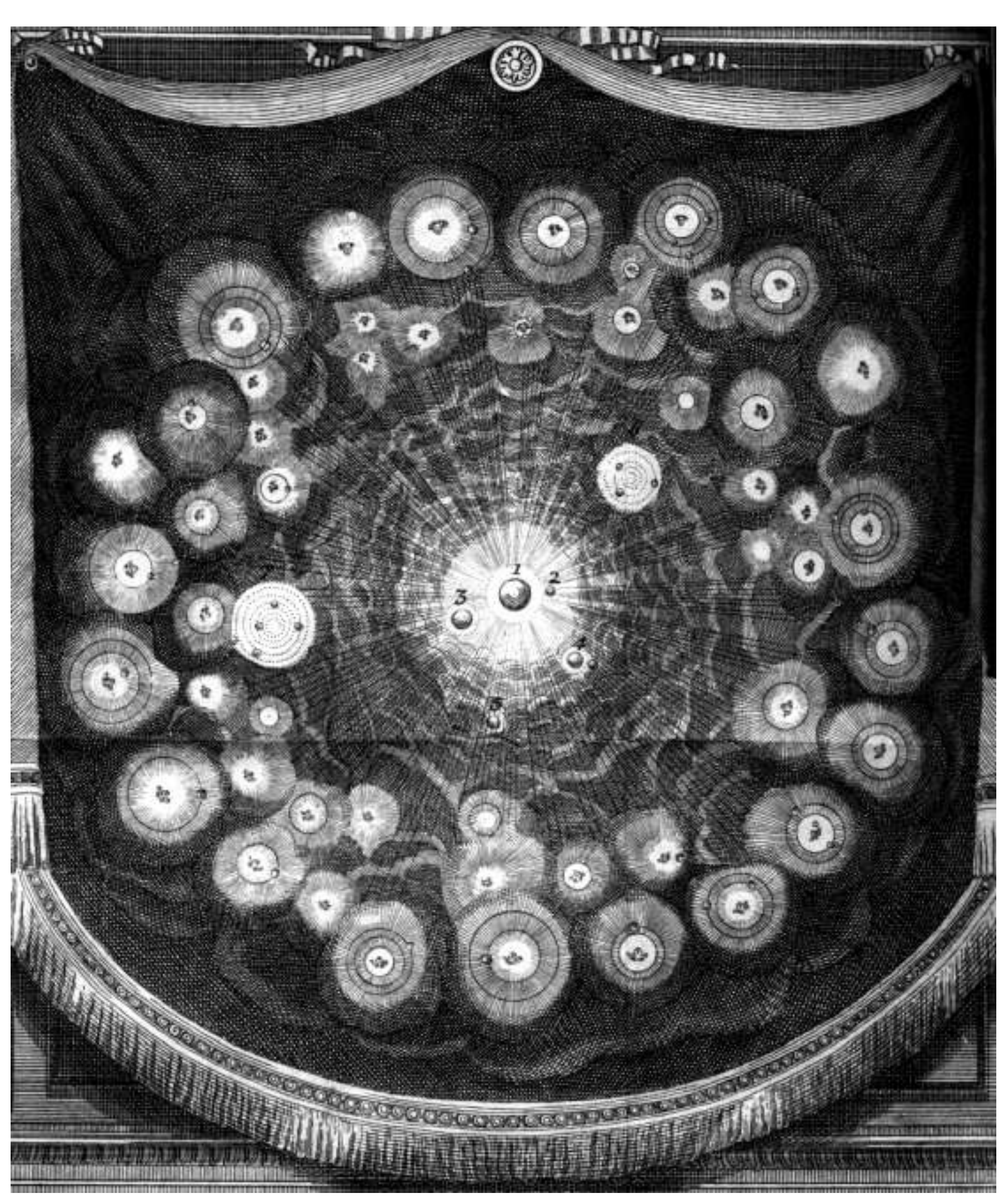
Le sentiment de cette vérité donna probablement naissance aux analogies mystérieuses des Pythagoriciens : elles avaient séduit Képler, et il leur fut redevable d'une de ses plus belles découvertes. Persuadé que les distances moyennes des planètes au soleil et leurs révolutions devaient être réglées conformément à ces analogies; il les compara longtemps, soit avec les corps réguliers de la Géométrie, soit avec les intervalles des tons. Enfin, après dix-sept ans d'essais inutiles, ayant eu l'idée de comparer les puissances des distances, avec celles des temps des révolutions sidérales; il trouva que les carrés de ces temps sont entre eux, comme les cubes des grands axes des orbites; loi très importante, qu'il eut l'avantage de reconnaître dans le système des satellites de Jupiter, et qui s'étend à tous les systèmes de satellites.

On relèvera les expressions : "*la vue générale par laquelle on embrasse aujourd'hui les états passés et futurs **du** système du monde*" ; "*explication compète de tous les phénomènes célestes jusque dans leurs moindres détails*" ; "*la nature dont les phénomènes ne sont que les résultats mathématiques d'un petit nombre de lois immuables*" .
C'est la belle époque des certitudes déterministes, alors que *Laplace* a porté la mécanique céleste à son zénith ! Plus dure sera la chute ... (géométries non euclidiennes, relativité, mécanique quantique, chaos ...).

"Faites donc vos prévisions, Messieurs les Astrologues, avec vos serviles physiciens, grâce à ces astrolabes [1] avec lesquels vous cherchez à distinguer ces neuvièmes sphères mobiles imaginaires ; vous y emprisonnez votre esprit et ressemblez ainsi pour moi à des perroquets dans une cage, tandis que je vous vois grimper et dégringoler, tourner et virevolter. [...]
Ce n'est point dans un seul soleil que Dieu est glorifié, mais dans d'innombrables soleils ; pas dans une seule terre, un seul monde, mais dans un millier de milliers, je veux dire dans une infinité de mondes."

Giordano BRUNO.
"L'infini, l'univers et les mondes" – 1584.

1. Il s'agit des sphères armillaires.

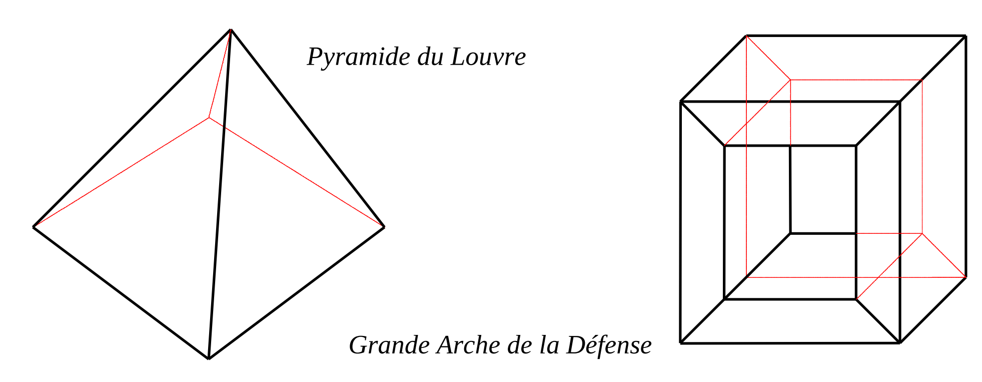


Fontenelle – Frontispice des "Entretiens sur la pluralité des Mondes" – Edition 1742.
Les tourbillons (d'éther) cartésiens.



LE CINQUIEME ELEMENT
OU L'HARMONIE DU MONDE
PAR LES POLYEDRES

I - NATURE DES POLYEDRES ET FORMULE D'EULER



Pyramide du Louvre

Grande Arche de la Défense



Tétraèdre *Cube* *Dodécaèdre* *Icosaèdre* *Octaèdre*

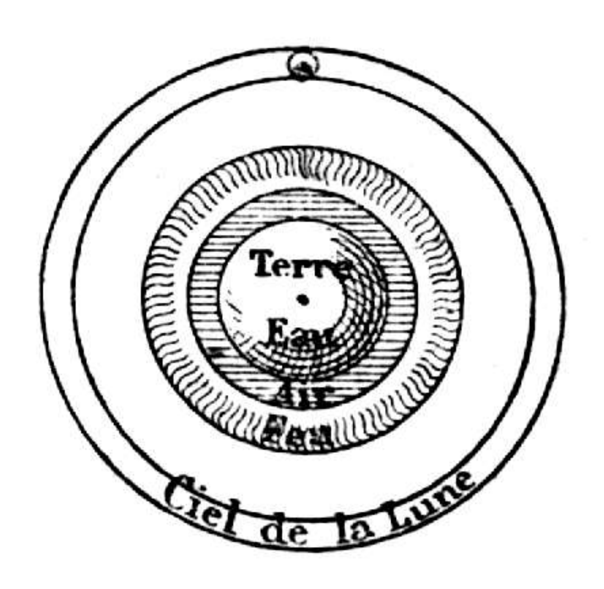
Un ***polyèdre*** est un solide limité par des ***faces*** planes. L'intersection de deux faces est une ***arête*** et l'intersection de deux arêtes est un ***sommet***.
Un polyèdre est ***convexe*** s'il est toujours situé d'un même côté du plan d'une quelconque de ses faces.
Un polyèdre est ***régulier*** si toutes ses faces sont des polygones réguliers identiques et si, en chaque sommet, aboutissent le même nombre de faces.
Compléter le tableau ci-dessous, où S est le nombre de sommets, F le nombre de faces et A le nombre d'arêtes.

Polyèdres :	convexe	régulier	S	A	F	$S - A + F$
Pyramide du Louvre	oui	non	5	8	5	2
Arche de la Défense						
Tétraèdre						
Cube						
Octaèdre						
Dodécaèdre						
Icosaèdre						

C'est au mathématicien suisse *Leonhard Euler* (1707/1783) que l'on doit le théorème suivant :

Si, dans un polyèdre ***convexe***, S est le nombre de sommets, A le nombre d'arêtes et F le nombre de faces, alors : $\boldsymbol{S - A + F = 2}$.

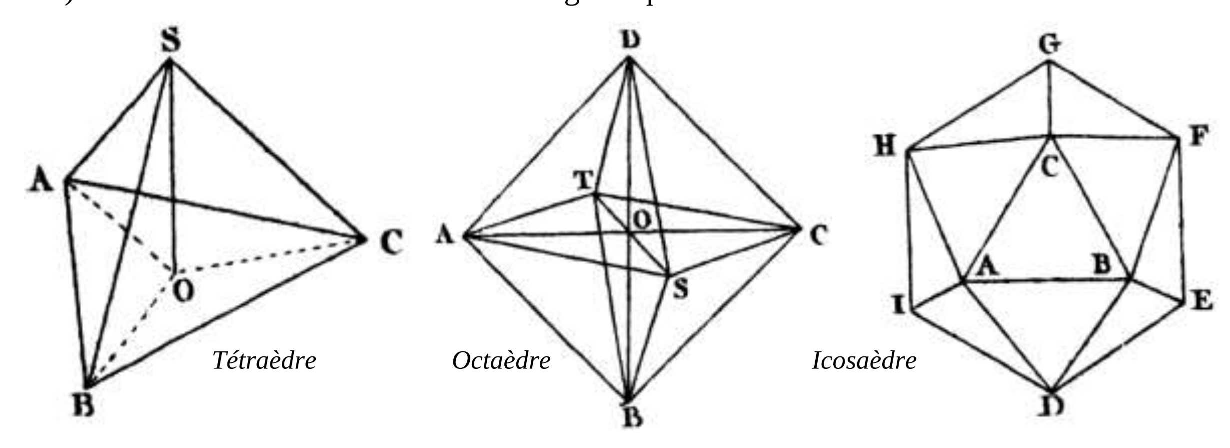
II - LES SOLIDES PLATONICIENS



Au milieu du Vème siècle avant J.-C., *Empédocle* propose comme matériau originel les quatre éléments, Terre-Eau-Air-Feu, que *Platon* associe ensuite aux polyèdres réguliers (selon leurs formes) :
Terre = Cube ; Eau = Icosaèdre ;
Air = Octaèdre ; Feu = Tétraèdre.
Il manque un cinquième élément...
Le système du Monde selon *Aristote* (figure ci-contre) intègre les quatre éléments dans le monde sublunaire.
Dans *"L'harmonie du Monde"*, *Kepler* recherche encore en 1618, à expliquer les dimensions du système solaire, à l'aide des polyèdres réguliers.

Vous allez démontrer qu'***il n'existe que cinq polyèdres convexes réguliers***, en raisonnant selon le nombre de côtés de chaque face.
On considère un polyèdre convexe régulier.
Puisqu'il est convexe, ce polyèdre vérifie la formule d'*Euler*.
Puisqu'il est régulier, le ***nombre c de côtés d'une face*** est constant, de même que le ***nombre n de faces aboutissant à un sommet***.
1) Quel est le nombre minimum de côtés d'un polygone ?
Combien faut-il, au minimum, de plans, pour que leur intersection donne un point ?
En déduire les valeurs minimales de n et c.
2) Transformation de la formule d'Euler :
a) En multipliant le nombre de côtés par faces, par le nombre de faces, chaque arête, appartenant à deux faces, est comptée deux fois.
En déduire une relation entre c, F et A.
b) Montrer que $nS = cF$.
c) Déduire de la formule d'Euler que : $A\left(\frac{2}{n}+\frac{2}{c}-1\right)=2$ (1).
3) Réduction du nombre de côtés par face à 3, 4 ou 5 (triangles, carrés ou pentagones) :
a) Quel est le signe de chacun des facteurs, au premier membre de (1) ?
En déduire que : $\frac{2}{c} > 1-\frac{2}{n}$.
b) Montrer que $n \geq 3$ entraîne $1-\frac{2}{n} \geq \frac{1}{3}$
c) En déduire que $\frac{2}{c} > \frac{1}{3}$, puis que les seules valeurs possibles de c sont 3, 4 ou 5.

4) Cas où $c = 3$: les faces sont des triangles équilatéraux.



Tétraèdre *Octaèdre* *Icosaèdre*

a) Montrer que (1) donne alors $A\frac{6-n}{3n} = 2$. En déduire que $6 - n > 0$.

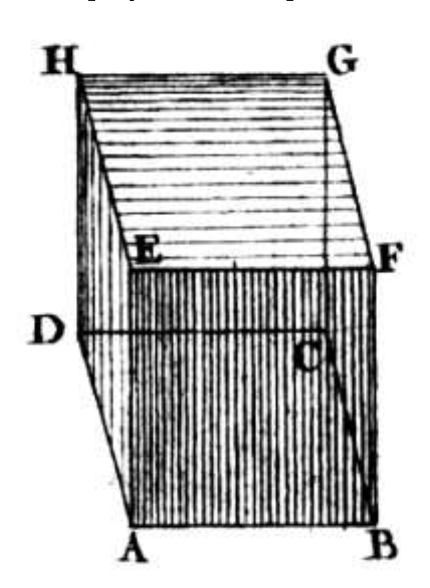
b) Quelles sont les valeurs de n possibles?

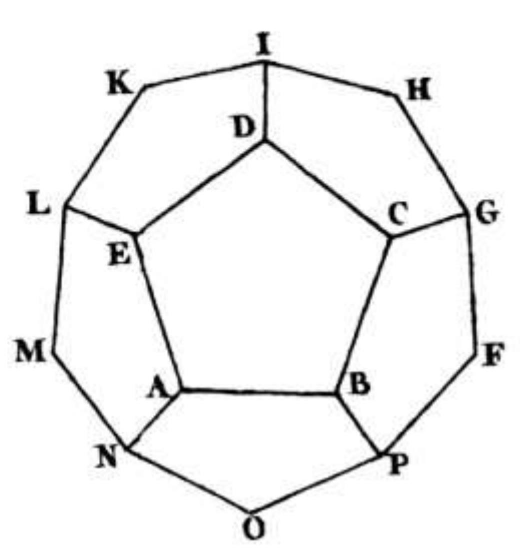
c) Quelles sont les valeurs de A, S et F correspondant à ces valeurs de n ?

Identifier les polyèdres obtenus.

5) Cas où $c = 4$: les faces sont des carrés.
Montrer, en procédant comme au 4a), qu'alors $n = 3$.
Quel est le polyèdre correspondant ?

6) Cas où $c = 5$: les faces sont des pentagones réguliers.
"Il restait encore une cinquième combinaison. Dieu s'en est servie pour achever le dessin de l'Univers." *Platon*.
Montrer, en procédant comme au 4a), qu'alors $n = 3$.
Quel est le polyèdre correspondant ?





Dodécaèdre : la figure du cinquième élément

Aristote associait ce cinquième élément au constituant du monde supra lunaire (les cieux au-dessus de la Lune) : un élément "parfait", nommé "éther".

Corrigé de l'activité
"LE CINQUIEME ELEMENT"

I – NATURE DES POLYEDRES ET FORMULE D'EULER

Polyèdres :	convexe	régulier	**S**	*A*	*F*	*S - A + F*
Pyramide du Louvre	oui	non	5	8	5	2
Arche de la Défense	non	non	16	32	16	0
Tétraèdre	oui	oui	4	6	4	2
Cube	oui	oui	8	12	6	2
Octaèdre	oui	oui	6	12	8	2
Dodécaèdre	oui	oui	20	30	12	2
Icosaèdre	oui	oui	12	30	20	2

Remarque : Seule "l'Arche de la Défense", qui n'est pas convexe, ne vérifie pas la formule d'Euler.

II – LES SOLIDES PLATONICIENS

1) Un polygone a au moins 3 côtés (pour se refermer), on en déduit que $c \geq 3$.
Il faut au moins 3 plans pour que leur intersection donne un point (deux plans sont sécants selon une droite), donc au moins trois faces pour un sommet ($n \geq 3$).
2) a) On obtient $\boxed{cF = 2A}$.
2) b) Dans le produit nS, (nombre de faces aboutissant à chaque sommet) × (nombre de sommets), chaque face est comptée c fois. D'où $\boxed{nS = cF}$.
2) c) D'après ce qui précède, $F = \dfrac{2}{c}A$ et $S = \dfrac{2}{n}A$ d'où, en reportant, $A\left(\dfrac{2}{n}+\dfrac{2}{c}-1\right)=2$ (1).
3) a) Dans (1), le second facteur étant strictement positif, on en déduit que $\dfrac{2}{c} > 1-\dfrac{2}{n}$.
3) b) Puisque $n \geq 3$, $\dfrac{2}{n} \leq \dfrac{2}{3}$ puis $1-\dfrac{2}{n} \geq 1-\dfrac{2}{3}$ c'est à dire $1-\dfrac{2}{n} \geq \dfrac{1}{3}$.
Ainsi, d'après la question précédente, $\dfrac{2}{c} > \dfrac{1}{3}$ d'où $\dfrac{c}{2} < 3$ et $c < 6$. Comme, par ailleurs, $c \geq 3$, on en déduit que les valeurs possibles de c sont 3, 4 ou 5.
4) On suppose ici que $c = 3$.
4) a) En reportant la valeur de c dans (1) et en réduisant au même dénominateur, on obtient $A\dfrac{6-n}{3n}=2$. Mais alors $6 - n > 0$, c'est à dire $n < 6$. Comme, par ailleurs $n \geq 3$, on en déduit que les seules valeurs possibles de n sont 3, 4 ou 5.
4) b) Ces valeurs de n correspondent respectivement au tétraèdre, à l'octaèdre et à l'icosaèdre (il n'y a pas d'autre possibilité car alors A puis $S = 2A/n$ et $F = 2 + A - S$ sont déterminés).
5) On suppose ici que $c = 4$. En reportant la valeur de c dans (1), on obtient $A\dfrac{4-n}{2n}=2$.
Mais alors $4 - n > 0$, c'est à dire $n < 4$. Comme $n \geq 3$, la seule valeur possible de n est 3.
Ce cas correspond à celui du cube.
6) On suppose ici que $c = 5$. En reportant la valeur de c dans (1), on obtient $A\dfrac{10-3n}{5n}=2$.
Mais alors $10 - 3n > 0$, c'est à dire $n < \dfrac{10}{3}$. Comme $n \geq 3$, la seule valeur possible de n est 3.
Ce cas correspond à celui du dodécaèdre.

V – CONTEXTE CULTUREL

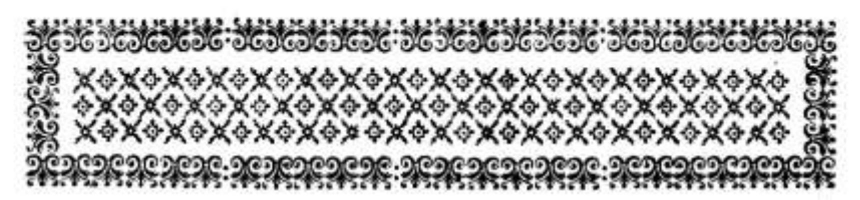
"Et nous prendrons sur nous d'expliquer le mystère des choses. Comme si nous étions des espions de Dieu."

Shakespeare.



صورة المرئة المسلسلة مع السمكة الشمالية التى ذكرها بطلميوس
فى آخر صور البروج

Représentation d'Andromède



QUELQUES ELEMENTS D'HISTOIRE DES SCIENCES ARABES DE LA PLACE DE L'ASTRONOMIE ET DE CELLE DE L'ASTROLABE

Ahmed Djebbar
Université Paris-Sud

Introduction

Notre fil conducteur dans ce bref aperçu de l'histoire des sciences arabes est l'astrolabe, un merveilleux instrument qui a supplanté tous les autres pendant des siècles, à la fois par ses possibilités techniques et par son esthétique.

Le mot *astrolabe* est un mot grec, formé de *astro* = étoile et *labe* = mesureur, chercheur. Mais, comme pour beaucoup de noms d'objets et de concepts, le succès de cet instrument a favorisé l'apparition d'explications fantaisistes sur son origine. C'est ainsi qu'au Xe siècle, il était courant de lire que son nom est d'origine arabe, *astor* (qui est l'arabisation du mot grec *astro)* étant le pluriel du mot arabe *satr* qui veut dire ligne, et *lab* désignant le nom propre de l'auteur de cette invention.

L'astrolabe est un belle illustration des différentes facettes (théorique, pratique, technologique, esthétique) d'une activité scientifique à une époque donnée et dans un contexte civilisationnel précis. Il s'agit ici des sciences qui se sont développées dans l'empire musulman et qui ont été le résultat d'une longue aventure, qui a concerné des dizaines de peuples, de différentes ethnies, de différentes religions. Dans l'immense espace de cet empire qui s'étendait des frontières de l'Inde à l'Atlantique et aux Pyrénées, les sciences, et en particulier l'astronomie, ont connu, entre le milieu du VIIIe siècle et le XIVe siècle, une activité très riche et multiforme. Cette longue période a été précédée par une phase de maturation, entre le VIIe siècle et le milieu du VIIIe au cours de laquelle se sont mis en place toutes les conditions qui vont permettre l'éclosion d'une nouvelle tradition scientifique.

A l'origine, le "centre" de cette civilisation se situait dans le Croissant Fertile avec comme pôle Damas puis Bagdad. Mais dès le IXe siècle, de nouvelles métropoles et de nouveaux pôles ont émergé et se sont imposés par le dynamisme de leurs pouvoirs et de leurs élites. Au Xe siècle, cet espace ouvert, sans frontières, avait même plusieurs centres qui rivalisaient à la fois dans le domaine de la culture, de la science. Ce qui va être très bénéfique pour la diffusion de la production scientifique d'abord à l'intérieur même de l'empire puis vers l'Europe chrétienne.

Les sciences dont il s'agit ici sont souvent appelées "sciences arabes". Il s'agit en fait de ce qui, en science, a été pensé, écrit, enseigné et publié dans la langue arabe qui fut la langue scientifique dominante du IXe au XIVe siècle. Or compte tenu de l'immensité de l'empire musulman et de la diversité de ses populations, les scientifiques étaient d'origine arabe, persane, berbère, ibérique, parfois même indienne et chinoise. Leurs religions étaient aussi différentes puisqu'on y trouve, en plus des musulmans, des chrétiens, des juifs, des sabéens, des zoroastriens. C'est donc dans cet espace, avec toute sa diversité et sa richesse, que va se

dérouler cette véritable aventure humaine, qui est la naissance et le développement des sciences arabes.

Les sources de la science arabe

On ne fait pas de la science par hasard. On ne décide pas un matin, brusquement, d'observer le ciel et d'étudier le mouvement des corps qui s'y déplacent. Ces activités s'inscrivent dans des traditions qu'elles prolongent, elles peuvent être aussi des réponses à des besoins de la société (comme la répartition des héritages, l'arpentage, la pratique religieuse, etc.). Elles sont enfin marquée par le contexte culturel dans lequel elles sont réalisées.

Ainsi, au milieu du VIIIe siècle, des érudits arabes, en contact avec d'anciens foyers de culture (comme Alexandrie, Nisibe, Harran) vont y chercher des connaissances scientifiques. Plus tard, les dirigeants politiques vont encourager ces recherches en les finançant. Les raisons de ces initiatives sont multiplies : augmenter leur prestige, mieux gérer la société, pérenniser leur pouvoir. Ces mécènes vont donc financer des traductions d'ouvrages, et en particulier des ouvrages sur l'astrolabe. Pourquoi commencer par ce type d'ouvrage ? Parce que l'astrolabe, et d'une manière générale l'astronomie, aident à résoudre des problèmes de la vie de tous les jours : orientation, détermination du temps, arpentage, détermination de paramètres nécessaires aux prévisions astrologiques. C'est en effet en encourageant l'astronomie que l'on pensait fournir les outils nécessaires à l'astrologie dans le but de la rendre plus performante, puisque cette pratique, très en vogue pendant tout le moyen-âge, servait alors à prédire aussi bien les événements individuels que collectifs. De tout temps, et aujourd'hui encore, les êtres humains ont toujours cherché le moyen le plus efficace pour connaître leur destin. Et pendant des millénaires, ils ont interrogé le ciel à la recherche des réponses à leurs interrogations. Cela ne doit pas nous faire sourire, si l'on considère que dans la science, il y a une dimension humaine, qu'aucun progrès scientifique ne pourra enlever, qui est l'angoisse du lendemain, la peur de la mort.

Une première source des savants arabes est l'Inde où l'on faisait des mathématiques depuis des siècles. Quand l'islam arrive au VIIe siècle, il y avait déjà des siècles de civilisation en Inde. On traduira en particulier en arabe des ouvrages d'astronomie écrits en sanskrit et que les astronomes arabes ont appelés *Sidhantha*. Dans ces ouvrages, on trouve des calculs, des tables astronomiques et les premiers éléments de trigonométrie.

Une deuxième source est celle des Babyloniens. Les Arabes n'ont pas eu accès aux tablettes cunéiformes, écrites entre 1800 et 1650 av. J.-C., qui n'ont été découvertes qu'au XXe siècle. Ces tablettes contiennent de la géométrie, des calculs, des résolutions d'équations. On sait cependant, par des études comparatives, que leur contenu a été partiellement transmis, à partir du VIIIe siècle, aux savants de la civilisation arabo-musulmane. Cette transmission a dû s'effectuer oralement de maître à élève ou de compagnon à artisan, à la fois dans les écoles et dans les ateliers.

La troisième source, la plus importante sur le plan quantitatif, c'est la science grecque. Dans ce domaine, les Arabes ont eu accès à de nombreux livres. En géométrie, le plus important est *"Les éléments"* d'Euclide, qui va nourrir les mathématiques de toute l'humanité, sauf la Chine, jusqu'au XVIIe siècle. En astronomie ils ont traduit le grand livre de Ptolémée l'*Almageste* qui restera la bible de l'astronomie médiévale. Son titre réel est la *Syntaxe mathématique* et ce sont les astronomes arabes qui, en hommage à Ptolémée, ont popularisé le titre qu'il porte aujourd'hui et qui signifie "le plus grand". Cela démontre le grand respect qu'ont eu les savants arabes pour la tradition scientifique grecque, plus sans doute que pour la science indienne, dont l'influence fut pourtant importante. Dans le domaine mathématique, on pourrait encore citer d'autres ouvrages grecs fondamentaux traduits en arabe, comme *L'introduction arithmétique* de Nicomaque, *la Sphère et le cylindre* d'Archimède, *l'Arithmétique* de Diophante.

Les grandes phases de la science arabe

VIIIe – IXe siècle

Comme on vient de le dire l'aventure scientifique arabe commence par l'étude de l'astronomie. Avant le phénomène de traduction, et même avant l'avènement de l'Islam, existait une astronomie populaire basée sur l'observation. Au cours de cette période, cette astronomie va se diffuser à travers des ouvrages qui portent tous le titre de "Livre des saisons". Puis des ouvrages traitant de l'astrolabe vont être rédigés par les premiers astronomes. Ces ouvrages ont probablement été inspirés par d'autres écrits traitant de cet instrument et qui avaient été écrits, en grec ou en syriaque, au VIe et au VIIe siècle.

Puis, parallèlement au phénomène de traduction d'ouvrages indiens et grecs, se développe l'enseignement de la langue arabe puis l'enseignement, en arabe, des ouvrages scientifiques qui ont pu être traduits. C'est également à cette époque qu'apparaissent, en Orient, les premières publications mathématiques en arabe.

En occident musulman, c'est à dire au Maghreb et en Andalus (nom donné à la partie islamisée de la Péninsule Ibérique, qui s'étendait de Gibraltar à Saragosse), la langue arabe va se diffuser lentement et il faut attendre le IXe siècle pour qu'apparaissent les premiers ouvrages contenant des éléments de mathématique et d'astronomie. Ces ouvrages vont être publiés en Ifriqiya (Tunisie actuelle) dans la ville Kairouan, fondée en 674 et devenue, au IXe siècle, la capitale intellectuelle de tout l'Occident musulman.

X^e^ – XIe siècle

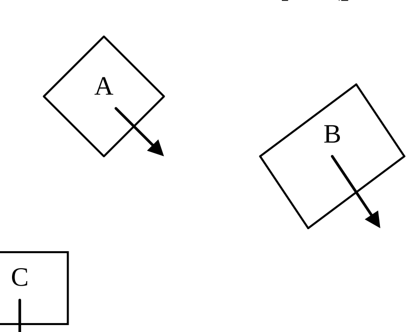
En orient musulman, cette époque est caractérisée par l'apparition de nouvelles disciplines. C'est d'abord la naissance de l'*algèbre*, avec la publication, au début du IXe siècle, du fameux livre d'algèbre d'*al-Khwârizmî* (m. 850) suivi, au Xe siècle par un certain nombre de commentaires. Avant cet événement, on ne trouvait que de simples algorithmes de résolution permettant de résoudre certaines équations, sans souci de généralisation et sans justification des procédures. C'est aussi le développement du calcul. Les scientifiques des pays d'islam ont emprunté aux Indiens le système décimal positionnel avec le zéro et ils l'on imposé dans tous les domaines mathématiques, sauf en astronomie. Dans cette discipline, les Arabes ont effet conservé le système sexagésimal. Ce choix n'a pas été fait pour des raisons scientifiques mais plutôt par imitation des Grecs (qui l'avaient eux-mêmes emprunté au Babyloniens). La géométrie, qui leur vient exclusivement des Grecs, va se développer dans plusieurs directions. Il en est de même de la trigonométrie dont ils ont emprunté les premières notions (sinus et cosinus) aux Indiens.

Zéro, système de numération positionnel, sinus, ces inventions ne le deviennent réellement que lorsqu'elles sont ainsi reconnues, que leur assimilation sociale est accomplie. Ce sont les arabes qui ont donné de l'importance mathématique à ces inventions indiennes. Ils vont y ajouter d'autres éléments, comme la tangente et les formules trigonométriques, puis ils vont résoudre de nombreux problèmes de l'astronomie à l'aide de ces nouveaux outils, permettant ainsi à la trigonométrie de se développer quantitativement, de s'enrichir de nombreux outils et résultats et, enfin, de s'émanciper de l'astronomie.

Comme exemple de contribution arabe qui a été rendue possible par le développement de la trigonométrie, il faut évoquer le fameux théorème des sinus. En trigonométrie, les Grecs utilisaient les cordes d'un cercle et la "figure sécante", c'est à dire une formule qui fait intervenir 6 grandeurs. Jusqu'au début du XIe siècle, la figure sécante était la seule formule disponible pour déterminer les éléments d'une équation exprimant un problème d'astronomie (c'est à dire un angle d'arc ou un arc de cercle sur la sphère). Pour utiliser cette formule, il fallait avoir 5 grandeurs connues ; ce qui permettait de déterminer la sixième, après un certain nombre d'opérations (multiplications et divisions). L'établissement du théorème du sinus, au

XIe siècle, allait faciliter grandement ces calculs puisque désormais, la connaissance de trois grandeurs suffisait pour déterminer l'inconnue du problème. De plus, cette détermination était plus rapide puisque il y a moins d'opérations à réaliser avec 4 grandeurs qu'avec 6.

Cela dit, il faut signaler que, malgré les progrès réalisés en mathématiques et en astronomie, progrès qui ont permis, en particulier, de résoudre certains problèmes liés à la pratique religieuse quotidienne, comme la détermination de la direction de la Mecque (pour faire les 5 prières quotidiennes), un grand nombre de pratiquants ont continué à faire comme avant en ignorant les progrès scientifiques. Cela est particulièrement frappant à propos de l'orientation des mosquées. La solution mathématique avait été déterminée dès le IXe siècle mais de nombreuses mosquées ont continué à être mal orientée, comme le montre l'exemple, donné par le Pr. *King*, concernant trois mosquées d'un vieux quartier du Caire :



A : qibla des compagnons, 27° SE ;
B : qibla des astronomes (la plus exacte) : 37° SE ;
C : qibla du prophète (direction dans laquelle il priait à Médine) : Sud.

Comme on le voit, dans une même cité, il y avait à côté des comportements scientifiques, des comportements dogmatiques justifiés par le souci de continuer à suivre la tradition. Cet exemple montre qu'il ne suffit pas que la science se développe pour être utile à la société, mais qu'il est nécessaire que cette société soit prête, culturellement, à accepter les résultats de la science et à les intégrer dans ses activités quotidiennes.

Pour conclure avec cette période, il faut préciser que l'Occident musulman est, à cette époque, en décalage avec l'Orient pour ce qui est des activités scientifiques. En effet, comme les traductions et les premières publications ont eu lieu en Orient, il a fallu un temps d'assimilation avant de voir apparaître les premières publications mathématiques et astronomiques. Ces publications (et celles qui vont être rapportées d'Orient) vont alimenter un enseignement scientifique dont le niveau va rapidement progresser jusqu'à aboutir, en particulier au XIe siècle, à une production originale de haut niveau pour l'époque.

XIIe – XIIIe siècle

Cette époque est capitale. Elle correspond à un sommet, mais aussi à un pallier en mathématiques (voir le schéma ci-contre).

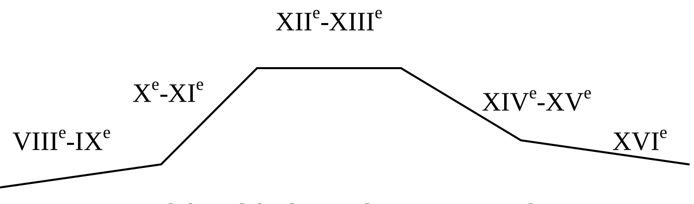


Schéma d'évolution des sciences arabes

En orient, de nouvelles recherches sont menées, de nouveaux théorèmes découverts et de nouveaux instruments, plus sophistiqués que l'astrolabe planisphérique, sont conçus et réalisés.

En occident musulman, c'est une période intense de traduction, en latin et en hébreu d'ouvrages grecs et arabes. Les premières traductions ont eu lieu à Tolède en 1116 (l'un des premiers livres traduits est l'algèbre d'*al-Khwârizmî*). Ces traductions, qui ont concerné les mathématiques, l'astronomie, l'astrologie, la mécanique, l'optique, la philosophie) se sont poursuivies activement jusqu'en 1187, puis se sont prolongées jusqu'au XVe siècle en Italie (le dernier livre traduit en latin est encore un livre d'algèbre).

Durant cette période, on observe, en Orient, un déplacement progressif des foyers d'activités scientifiques du Croissant Fertile vers la Perse et vers l'Egypte. En Occident, ce

déplacement a lieu de l'Espagne musulmane vers le Maghreb. On assiste également dans cette région, au développement de la *combinatoire* comme un chapitre autonome parmi les autres chapitres du calcul. On observe également la diffusion du *symbolisme mathématique* dans les écrits produits dans des villes du Maghreb, comme Marrakech, Fès et Bougie.

XIVe – XVe siècle

On assiste en Orient à un processus de ralentissement des activités scientifiques et un arrêt progressif de la recherche, sauf en astronomie. A cause de ses aspects appliqués, liés en particulier à la conception et à la réalisation des instruments (astrolabes simples, astrolabes universels, cadrans solaires, quart de cercle, etc.), cette discipline a été la première à se développer et la dernière à voir ses activités décliner. En effet, les derniers astrolabes ont été produits à la fin du XIXe siècle.

En occident musulman, le même processus de déclin s'est produit d'abord en Andalus, avec la disparition de nombreux foyers scientifiques, conséquence de la reconquête de l'Espagne par les Castillans. Seul le royaume de Grenade a survécu un certain temps et un enseignement scientifique était assuré jusqu'en 1492, date de la chute de la ville. Au Maghreb l'astronomie et les mathématiques vont continuer à être enseignées dans des villes comme Fès, Tlemcen, Tunis et des ouvrages scientifiques vont continuer à y être publiés.

En conclusion

On a souvent dit que l'apport scientifique des arabes s'est limité "à l'invention du zéro et à la transmission des savoirs grecs aux occidentaux". En réalité, les Arabes n'ont fait ni l'un ni l'autre : ils n'ont pas inventé le zéro puisqu'ils sont les premiers à dire qu'ils l'on emprunté aux Indiens. Quant aux Arabes du XIIe siècle, ils ne se sont jamais préoccupés de transmettre quoi que ce soit à l'Europe et ce pour une raison simple : se considérant comme les porteurs de la civilisation, ils jugeaient sans intérêt la diffusion de leurs connaissances vers des peuples qu'ils jugeaient comme encore inaptes à les comprendre et à les assimiler. Ce sont en réalité des européens qui ont eu conscience de l'importance de ces connaissances et qui sont venus les chercher là où elles étaient. Parmi les précurseurs de ces pionniers de la science européenne, on trouve *Gerbert d'Aurillac*, le futur pape *Sylvestre II* (m. 1001) qui, au Xe siècle, est l'un des premiers européen du Nord à aller en Espagne, prendre connaissance du contenu de la science arabe et percer les mystères de l'astrolabe. Comme on le voit, l'astrolabe est également là au moment où les premiers signes d'une demande de connaissances scientifiques apparaissent en Europe.

On pourrait, pour conclure, dire qu'une science sans sa dimension technologique et sans ses applications, n'est pas une véritable science. C'est la dimension technologique et les applications qui ont souvent stimulé ou accompagné les avancées d'une science. Pour le sujet qui nous intéresse ici, ce sont les aspects appliqués de l'astronomie qui ont poussé les mathématiciens à trouver de nouveaux outils mathématiques et à améliorer des outils plus anciens, pour être plus rapide ou plus précis dans les calculs qu'ils avaient à effectuer et pour résoudre les problèmes posés par la théorie.

On sait, par exemple, qu'au XIe siècle a été conçu un astrolabe fonctionnant selon l'hypothèse de la rotation de la Terre sur elle-même. Ceci nous est rapporté par le grand savant d'Asie centrale, *al-Bîrûnî* (m. 1048). Ce dernier affirme en effet, qu'après avoir étudié l'hypothèse de la rotation de la Terre sur elle-même, il l'a considérée comme tout à fait possible. Mais comme aucun phénomène ne permet de trancher en sa faveur et que, par ailleurs, les calculs des astronomes se faisaient bien dans le cadre géocentrique, notre savant ne voyait pas la nécessité de changer d'hypothèse de travail. Comme on le voit, C'est l'état de la technologie qui est, dans ce cas, déterminant. En effet, si la technologie de la lunette avait été maîtrisée à l'époque d'*al-Bîrûnî*, on aurait peut-être pu observer des phénomènes qui auraient remis en

cause l'hypothèse géocentrique. Au XI[e] siècle, l'étude théorique des miroirs sphériques, paraboliques, hyperboliques, était déjà très avancée, mais il ne semble pas que les mêmes progrès aient été enregistrés dans la technologie du verre et dans la réalisation des loupes grossissantes. Si la technologie de la lunette avait été maîtrisée, *al-Bîrûnî* n'aurait sans doute pas considéré l'hypothèse de la rotation de la Terre sur elle-même comme une simple hypothèse de travail.



LES BASES ASTRONOMIQUES
DU CALENDRIER

I/ Définition de calendrier :

....
....

II/ Trois notions provenant de l'observation de phénomènes astronomiques

Prendre comme documents un calendrier quelconque et un globe terrestre.

- Le jour.
- Le mois lunaire.
- L'année solaire.

Définition :

Jour : ....
....

Mois lunaire : Comptez les jours de plusieurs mois lunaires, que remarquez-vous ?
....
....

L'année solaire : ....
....

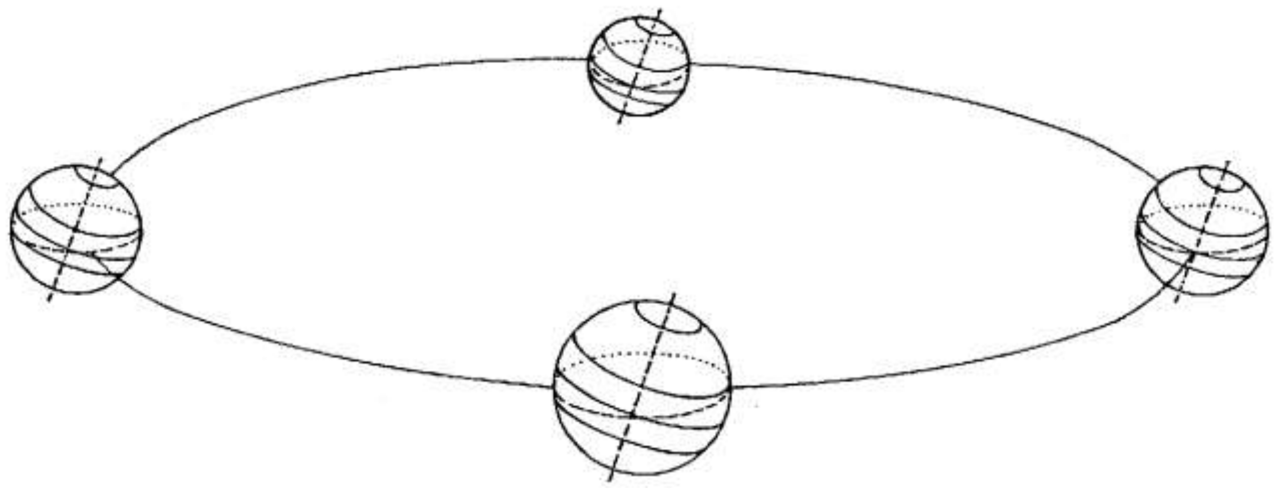
Croquis de représentation de la Terre :

Complétez le croquis :

Définissez l'écliptique : ....
Quelle est la valeur de l'inclinaison de l'axe des pôles ? ....
Quelle est la valeur de l'angle entre le plan de l'équateur et le plan de l'écliptique ?
....

Indiquez les cercles polaires , les tropiques, l'équateur ainsi que leur latitude sur le croquis ci-dessus.

Croquis* dans le système héliocentrique *des mouvements de la Terre :

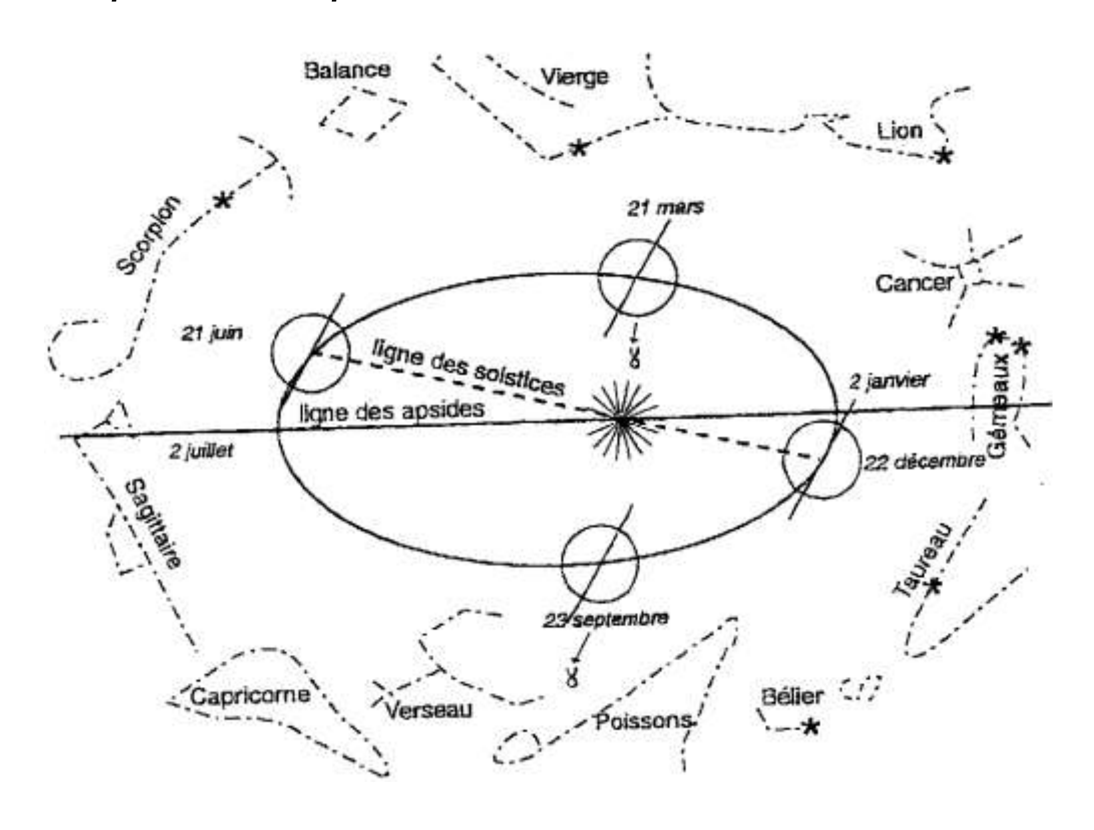


Complétez le croquis.
Au moment du solstice d'hiver la limite de la zone éclairée : ....
....
....
Au moment du solstice d'été la limite de la zone éclairée : ....
....
....
Au moment des équinoxes la limite de la zone éclairée : ....
....
....

Complétez le tableau :

Durée du jour	Hémisphère nord	Cercle polaire nord	Latitude de Paris	Cercle polaire sud	Hémisphère sud
Equinoxe de printemps					
Solstice d'été					
Equinoxe d'automne					
Solstice d'hiver					

Croquis mettant en évidence le déplacement apparent du soleil qui parcourt le Zodiaque astronomique en un an :



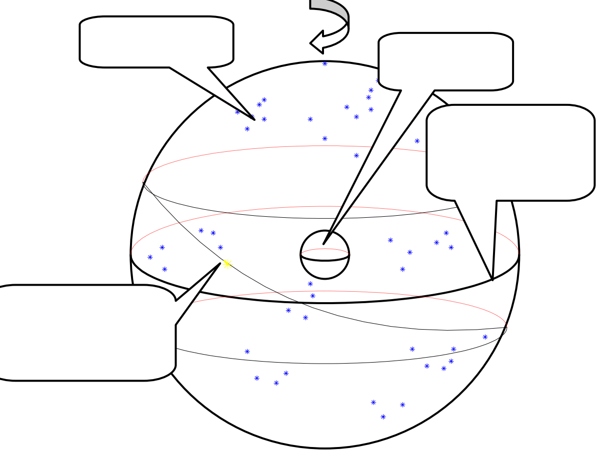
Nous changeons de repère : le système géocentrique de Ptolémée.

- Quel est l'intérêt de ce système aujourd'hui ?

  ....
  ....
  ....

- Complétez le croquis (***Sphère des étoiles en rotation autour de la Terre – modèle de Ptolémée***) ci-contre :

  La Terre.
  Plan de l'équateur terrestre.
  Plan de l'équateur céleste.
  L'écliptique.
  L'angle formé par les plans de l'équateur céleste et l'écliptique.
  Les deux intersections entre ces deux plans.



• Mettons ceci en évidence sur ***l'astrolabe*** au rétroprojecteur.

Complétez la phrase suivante :
On appelle ***point vernal*** " γ " est le point auquel l'écliptique coupe l'équateur céleste en passant de.............................. à ....
Le ***point vernal*** correspond à quelle position du Soleil sur l'écliptique ? ....
....

• Définition de l'***année tropique*** :
....
....
....

• Durée de l'***année tropique*** : ....
• Durée d'une ***lunaison*** : ....

• En déduire quelles difficultés cela engendre pour définir un calendrier.
....
....
....
....

Corrigé de l'activité "LES BASES ASTRONOMIQUES DU CALENDRIER"

I/ Le calendrier est un système permettant de recenser les jours pendant une longue période de temps.

II/ L'observation de phénomènes astronomiques ont permis de mettre en évidence trois notions essentielles.

• Le jour

La manipulation simple d'un globe terrestre permet de définir le "jour" comme une succession d'un jour et d'une nuit.
L'utilisation simple d'un calendrier de la poste de 1999 aux dates du 1er et 2 janvier indique qu'entre deux levers consécutifs du soleil, il s'écoule 24H (de 7H46 à 7H46). Cependant, le lever du soleil le 10 février à 7H10 est suivi le 11 février d'un lever à 7H08. On pourrait multiplier les exemples avec les élèves : entre le 21 et le 22 mars la différence est de 2 minutes.
Cela est du en partie à la vitesse de déplacement de la terre sur son parcours elliptique autour du soleil ; cette vitesse n'est pas constante : elle est plus grande en hiver qu'en été dans l'hémisphère nord.
On a donc préféré se " caler " sur une vitesse moyenne de déplacement de la terre. Cela donne un jour constant.
On peut définir la durée du jour comme l'intervalle de ***temps moyen*** qui sépare 2 levers ou 2 couchers consécutifs ou encore 2 passages consécutifs au méridien du soleil. Cette durée moyenne de 24H est notre unité de temps officielle qui n'a pas grand chose à voir avec le jour "vrai."

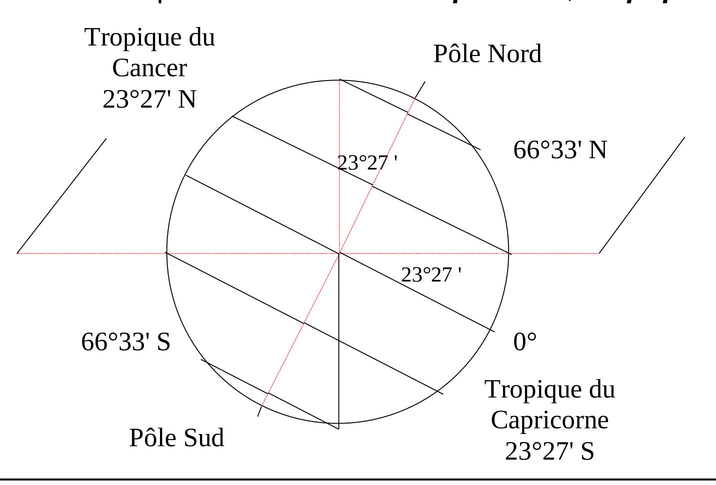
• Le mois lunaire

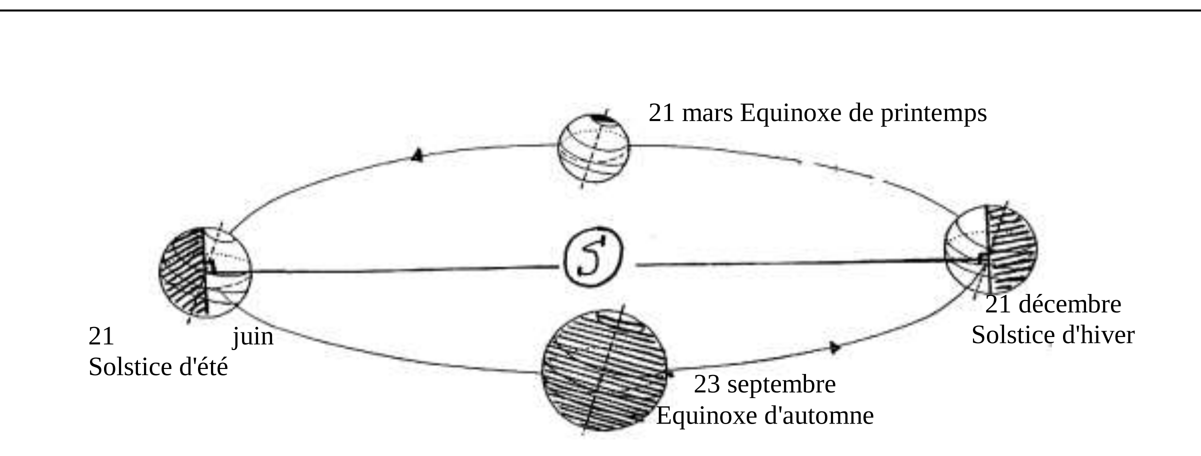
Il convient de faire calculer aux élèves le nombre de jours séparant 2 nouvelles lunes indiquées par ce signe "•" dans le calendrier :
soit 29 jours du 13 juillet 99 au 11 août 99
soit 29 jours du 11 août au 9 septembre 99
soit 30 jours du 9 septembre 99 au 9 octobre 99
En fait la lune parcours son orbite une fois en 29 jours 6 heures une autre fois en 29 jours 20 heures... soit une lunaison moyenne de 29 jours 12 heures 44 minutes soit **29,530588 jours** (le jour pris comme l'unité définie ci-dessus). Cela est dû à la révolution très complexe de notre satellite qui subit entre autre l'attraction de la terre et du soleil.

• L'année solaire

Croquis de représentation de la terre

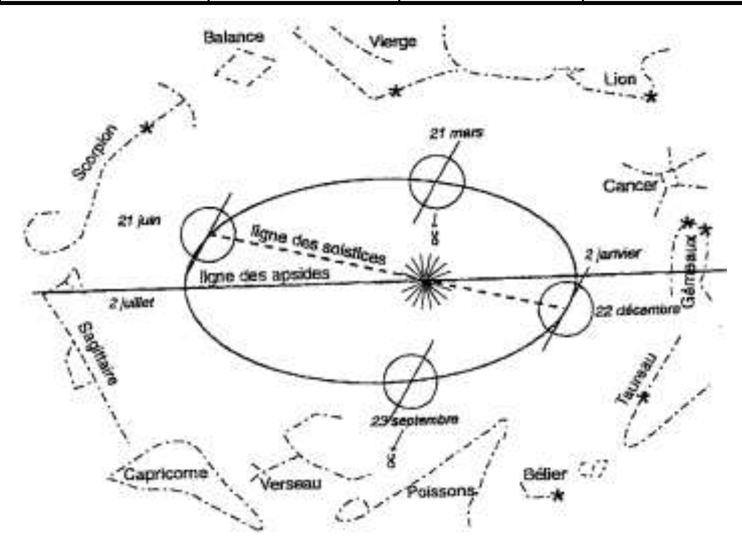
Il s'agit de repérer les différents cercles remarquables : les ***cercles polaires***, ***tropiques*** ***équateur*** et d'indiquer leur latitude.
Il faut préciser la définition du ***plan de l'écliptique*** : plan dans lequel la terre tourne autour du soleil.
Il s'agit aussi d'indiquer l'***inclinaison de l'axe des pôles*** par rapport à la perpendiculaire au plan de l'écliptique et de trouver la valeur de l'angle entre le plan de l'équateur et le plan de l'écliptique.





Faire tracer par les élèves pour le solstice d'hiver et d'été la droite joignant le centre de la **T**erre au centre du **S**oleil.(droite **TS**).Tracer un plan passant par le centre de la Terre, perpendiculaire à la droite **TS**. Puis hachurer la moitié de Terre dans la nuit.
Au moment du solstice d'été la moitié de Terre éclairée comprend entièrement le cercle polaire nord, mais exclue entièrement le cercle polaire sud. Le Soleil est à la verticale du Tropique nord.
Pour le solstice d'hiver , c'est l'inverse : le Soleil est à la verticale du Tropique sud.
Aux équinoxes, le Soleil est à la verticale de l'équateur. La limite de la zone éclairée passe par les deux pôles, elle partage chaque cercle en deux parts égales.

Durée du jour	Hémisphère nord	Cercle polaire nord	Latitude de Paris	Cercle polaire sud	Hémisphère sud
Equinoxe de printemps	12 H	12 H	12 H	12 H	12 H
Solstice d'été	Jour le plus long	24 H	16 H07	0 H	Jour le plus court
Equinoxe d'automne	12 H	12 H	12 H	12 H	12 H
Solstice d'hiver	Jour le plus court	0 H	8 H11	24 H	Jour le plus long



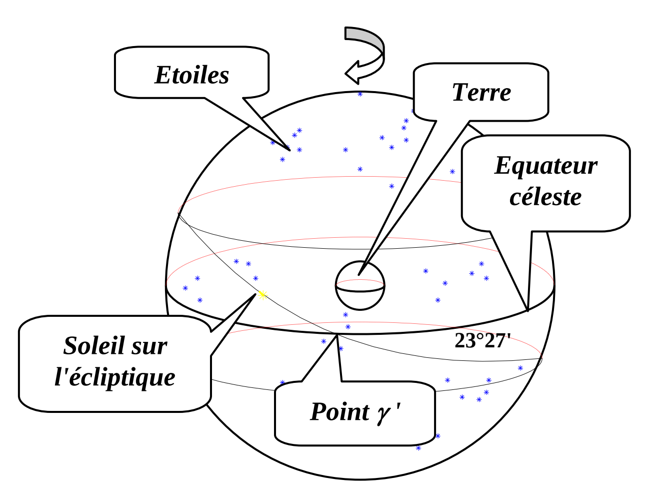
Dans le croquis ci dessous, nous avons placé les 12 constellations zodiacales ; le Soleil dans son ***déplacement apparent*** sur la voûte céleste parcourt le zodiaque en un an.
Sur ce croquis, nous pouvons tracer une ligne joignant la Terre , le Soleil et la constellation se trouvant dans l'alignement. Comme le Soleil est vu depuis la Terre il dissimule par son éclat la constellation, on dit habituellement que le soleil est dans le Verseau par exemple.

Cela permet de comprendre le déplacement apparent du Soleil sur l'écliptique au cours de l'année.

NB. On peut montrer aux élèves le ***zodiaque astrologique*** situé au revers de l'astrolabe. Ils peuvent remarquer que le mois considéré correspond à un "signe" qui est différent de celui qui est indiqué sur le ***zodiaque astronomique***. Il y a deux signes de décalage environ. En effet le zodiaque astrologique des horoscopes date de 2000 ans , or l'axe de rotation de la Terre tourne autour de la perpendiculaire au plan de l'écliptique (mécanisme de la ***précession des équinoxes***). Cette oscillation provoque une dérive lente des constellations zodiacales qui ne se trouvent plus à la même place (dans l'alignement constellation, Terre , Soleil) aujourd'hui qu'autrefois. Argument démontrant si besoin était l'absurdité de l'astrologie.

Nous changeons de repère : le système géocentrique. C'est d'ailleurs le seul système qui permette de repérer les astres en latitude (déclinaison) et en longitude (ascension droite)

Le ***système géocentrique*** (Ptolémée) correspond au mouvement apparent de la sphère céleste pour un observateur situé sur la Terre. Nous pouvons situer sur le croquis ci-joint : la Terre ,le plan de l'équateur terrestre qui se prolonge sur le sphère céleste : c'est le plan de l'équateur céleste ; nous situons aussi le parcours que décrit le Soleil en un an sur l'écliptique.
L'intersection du plan de l'équateur céleste et du plan de l'écliptique détermine 2 points dont l'un va servir à déterminer l'origine de l'année solaire.



Nous allons mettre cela en évidence en utilisant le système géocentrique et sa représentation planisphérique : l'astrolabe.
Nous repérons les 2 intersections que l'on note " γ " et " γ ' ".
L'astrolabe , qui est le résultat de la projection stéréographique de la sphère céleste sur un plan (cela est expliqué en cours de mathématiques) nous permet de repérer l'équateur céleste sur le tympan et l'écliptique sur l'araignée ; il suffit de superposer le tympan et l'araignée pour trouver les 2 points d'intersection. Nous situons le point " γ " , c'est le point vernal.

Cela permet de compléter la phrase du document élève :
On appelle point vernal le point auquel l'écliptique coupe l'équateur céleste en passant de l'hémisphère austral à l'hémisphère boréal.
Les élèves peuvent lire sur l'astrolabe la date à laquelle correspond le point vernal : 21 Mars cela permet de donner une autre définition de ce point :
La position du Soleil sur l'écliptique au moment de l'équinoxe de printemps (vers le 21 Mars) est nommé point vernal.

Nous pouvons définir désormais l'***année solaire*** de la façon suivante :
On appelle année tropique l'intervalle de temps séparant 2 passages consécutifs du Soleil au point vernal.

La durée de l'***année tropique*** est de : 365 jours 5 H 48 mn 46 s. cela correspond à 365.24220 jours civils.
On se rappelle de la lunaison moyenne : 29.530588 jours civils.

Il est assez facile d'en conclure que les durées de ces 2 périodes ne sont pas les multiples entiers les unes des autres, d'où les difficultés que l'homme a rencontrées depuis les origines pour construire un calendrier. Celui-ci ne peut pas être exact dans la longue durée. Nous préciserons cela en étudiant dans le module suivant les sources du calendrier actuel ; en mathématiques la dérive du calendrier grégorien actuel sera exposée et calculée.

LES SOURCES DE NOTRE CALENDRIER ACTUEL

	SUMERIENS	BABYLONIENS	EGYPTIENS	EGYPTIENS	ROMAINS	ROMAINS	ROMAINS
Date	XXI avant notre ère	XVII avant notre ère	6000 avant notre ère	2000 avant notre ère	753 avant notre ère	700 avant notre ère	1° siècle avant notre ère
Durée de l'année							
Durée du jour/ numérota-tion							
Outil de mesure							
Repérage par les astres							
Décalage des calendriers							
Correction des calendriers							
Poids et rôle du clergé							

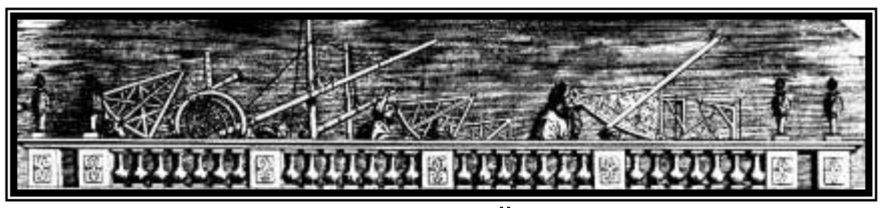
ANNEXE : Numérotation des jours utilisée jusqu'aux XVIe-XVIIe siècles

Dates modernes	*Dates romaines*
1er mars	Ier des calendes de mars
2 mars	VI de nones (5 jours avant nones)
3 mars	V de nones (4 jours avant)
4 mars	IV de nones (3 jours avant)
5 mars	III de nones (2 jours avant)
6 mars	Ier de nones (veille de nones)
7 mars	Nones
8 mars	VIII des ides (7 jours avant les ides)
9 mars	VII des ides (6 jours avant)
10 mars	VI des ides (5 jours avant)
11 mars	V des ides (4 jours avant)
12 mars	IV des ides (3 jours avant)
13 mars	III des ides (2 jours avant)
14 mars	Ier des ides (veille des ides)
15 mars	Ides

210

Corrigé de l'activité "LES SOURCES DE NOTRE CALENDRIER ACTUEL"

	SUMERIENS	BABYLONIENS	EGYPTIENS	EGYPTIENS	ROMAINS	ROMAINS	ROMAINS
Date	XXI avant notre ère	XVII avant notre ère	6000 avant notre ère	2000 avant notre ère	753 avant notre ère	700 avant notre ère	1° siècle avant notre ère
Durée de l'année	360 jours 30*12=360 jours	360 jours	365 jours =12*30jours +5 jours.	365 jours et un quart	304 jours !!	355 jours : Janvier + Février=354 +1jour	variable
Durée du jour/ numérotation	Utilisation du gnomon.	24 heures Gnomon	Gnomon			Calendes Nones Ides /voir document.	Calendes Nones Ides
Outil de mesure et système de calcul	Le gnomon ; Ils utilisaient les bases 6 et 60 6*60=360 Toujours utilisées ex. rapporteur.	Le gnomon ; Multiple de 6 et diviseur de 360 ; toujours base 6/60 Rapport avec le Zodiaque(12) ?	Le gnomon ; Nilomètre : bâton où l'on marque le début de la crue du Nil.		Romulus héros fondateur de Rome ne devait pas avoir d'outil ou de connaissances !!	Gnomon	
Repérage par les astres	Le soleil parcourt l'écliptique en 360j., d'où 360°	Ziggourat : pyramide à étages, observatoire.	Sirius se levait le jour du début de la crue qui correspondait au solstice d'été.	Mesure de l'écart entre le lever de Sirius d'une année sur l'autre.			
Décalage des calendriers	5 jours par an.	5 jours par an.	1 jour tous les 4 ans; Sirius se levait un jour plus tard tous les 4 ans.	1 jour tous les 4 ans; Sirius se levait un jour plus tard tous les 4 ans.	Il manque 61 jours par an !!!	10 jours par an. 1 mois tous les 3 ans.	Deux mois de retard sur l'année solaire !!
Correction des calendriers				238 av. notre ère : refus du clergé. 139 après notre ère, la réforme sera adoptée		Rajouter 1 mois de 22 à 23 jours tous les 3 ans	Problème pour les négociants, l'admistration qui doit gérer un vaste Empire, il est urgent de réformer.
Poids et rôle du clergé		Ziggourat est un sanctuaire ; L'astrologie : connaître le ciel pour prévoir l'avenir ...	Ces 3 coïncidences frappent les prêtres et donc le peuple.	Refus des prêtres : la dérive est voulue par les dieux pour honorer chaque jour de l'année.		Les Pontifes magistrats religieux, le font quand cela les arrangent !!	Comment enlever au clergé et aux classes dirigeantes leur poids dans l'organisation du temps ?



TEMPS LAÏQUE
ET TEMPS CHRISTIANISE

I/ CLEOPATRE, JULES ET SOSIGENE

1) Comment réformer le calendrier : la méthode égyptienne

• *Jules César.*
• *Cléopâtre.*
• *Sosigène* déclare *"le Nil n'enflait pas son cours avant l'arrivée au ciel de l'étoile du Chien"* (Sirius) ,
extrait d'un texte du poête Lucain (36- 65).



Le lever de l'étoile du Chien (Sirius)

2) Mise en place de la méthode

Deux documents sources :

"César... réforma le calendrier que le collège des Pontifes avait laissé se dégrader de façon si désordonnée, avec l'inclusion de jours et de mois suivant leur bon plaisir, que les fêtes des vendanges et des moissons ne coïncidaient plus avec les saisons proprement dites."
(Suètone 1er ap J-C Vie des douze Césars)
"César en appela aux meilleurs philosophes et mathématiciens de son temps."
(Plutarque. Vies parallèles -1er 2ème ap J-C)

Premier calendrier julien:

Janvier :	Quintilis :
Février :	Sextilis :
Mars :	September :
Avril :	October :
Mai :	November :
Juin :	December :

3) Les modifications du calendrier julien: la réforme augustéenne

Document source : une résolution du Sénat.

"Alors que l'empereur César Auguste, dans le mois de sextilis, était admis au Consulat pour la première fois et avait obtenu trois entrées triomphales dans la cité (Rome) (...) qu'au même moment l'Egypte était placée sous la tutelle du peuple romain et que les guerres civiles arrivaient à leur terme, toutes ces raisons qui firent et font dudit mois le

plus bénéfique de notre empire, ont amené le sénat à décréter que ledit mois soit désormais appelé "Auguste"

Conséquences dans le calendrier : ....

4) Les défaillances du calendrier julien

Durée de l'année tropique : ....
Durée de l'année julienne : ....

5) Les caractéristiques du calendrier julien

....
....
....
....

II/ CONSTANTIN LE VICTORIEUX OU LE TEMPS CHRISTIANISE

1) Contexte historique

Edit de Milan (313) envoyé aux gouverneurs de province par l'empereur Constantin.

"Nous donnons, aux chrétiens comme à tous, la libre faculté de suivre la religion de leur choix (...) il nous a paru que c'était une décision très juste de ne pas refuser ce droit à qui que ce soit, qu'il adhère au culte chrétien ou à la religion qui lui paraît la meilleure. De cette manière la divinité suprême que chacun de nous honorera librement, pourra nous accorder en tout sa faveur et sa bienveillance accoutumée."

Conséquences :
....
....
....
....
....
....
....

2) Les trois innovations de Constantin

Les sept jours de la semaine sont fixés par l'édit de 321

Planète	Anciennes divinités astrales				Noms modernes des jours	
	Babyloniens	Romains	Saxons	Anglais	Français	Espagnols
Soleil	Shamash	Sol	Sun	Sunday	Dimanche	Domingo
Lune	Sin	Luna	Moon	Monday	Lundi	Lunes
Mars	Nergal	Mars	Tiw	Tuesday	Mardi	Martes
Mercure	Nabu	Mercurius	Woden	Wednesday	Mercredi	Miercoles
Jupiter	Marduk	Jupiter	Thor	Thursday	Jeudi	Jueves
Vénus	Ishtar	Venus	Freya	Friday	Vendredi	Viernes
Saturne	Ninurta	Saturnus	Saturn	Saturday	Samedi	Sabato

L'édit de 321 fixe le jour consacré à Dieu pour les chrétiens

- Pour les païens : ....
- Pour les juifs : ....
- Pour les chrétiens : ....

Le concile de Nicée en 325 fixe la date de la naissance de Jésus

....

Le concile de Nicée en 325 détermine le calcul de la date de Pâque

- Signification de ce jour pour les chrétiens : ....
....
- Problème : ....
....
- Solution : ....
....
....
....

Début de l'ère chrétienne

Corrigé de l'activité
"TEMPS LAÏQUE ET TEMPS CHRISTIANISE"

I/ CLEOPATRE, JULES ET SOSIGENE

1 . Comment réformer le calendrier : la méthode égyptienne



Contexte historique : Jules César en poursuivant son rival Pompée s'est retrouvé à Alexandrie en -48 ; l'Egypte est assujettie à Rome, en fait elle est officiellement indépendante sous l'autorité de la reine Cléopâtre.
Le poète Lucain (39 - 65 ap. J-C) raconte que la reine et le stratège romain seraient devenu amants dés leur première rencontre.
La reine est très cultivée : d'après le poète elle parle plusieurs langues, connaît la littérature et les sciences, et fréquente la bibliothèque d'Alexandrie. Elle organise un repas en l'honneur de Jules César et là, selon Lucain, il rencontre un sage Sosigène qui lui parle du lever annuel de Sirius au moment de la crue du Nil.
Jules César aurait donc eu connaissance de la méthode égyptienne de calcul de l'année : 365 jours un quart.

2 . Mise en place de la méthode

César est maître du monde méditerranéen il obtient la dictature pour 10 ans en -46 ; il entreprend de grandes réformes dont celle du calendrier en -46.
Il s'agit d'abord de rattraper le retard du calendrier romain : l'année 708 de la fondation de Rome (ab Urbe condita) devient l'année de "la grande confusion" : elle contient 445 jours pour rattraper le retard accumulé au cours des années antérieures. Le rattrapage est introduit en -46 soit 708 de la fondation de Rome -AUC Avec 90 jours supplémentaires, un gouverneur de Gaule en profitera pour lever 3 mois d'impôts en plus !! Tout le monde parla de "ultimus annus confusionis" : la dernière année du désordre.
Il faut éviter que le décalage ne recommence, l'année dure 365 jours et tous les quatre ans il y a un jour supplémentaire. La longueur de l'année est donc de 365,25 jours.
La réforme donne naissance à une nouvelle distribution des mois avec l'alternance régulière de mois de 30 et de 31 jours :

Premier calendrier Julien :

Janvier : 31j.	*Février : 29j.ou 30j. tous les 4 ans.*
Mars : 31j.	*Avril : 30j.*
Mai : 31j.	*Juin : 30j.*
Quintilis : 31j.	*Sextilis : 30j.*
September : 31j.	*October : 30j.*
November : 31j.	*December : 30j.*

Les numéros liés aux noms des mois se trouvent désormais décalés car le début de l'année est ramené du 1er Mars au 1er Janvier : (Sept)embre, (Octo)bre, (Nov)embre et(Dec)embre ne sont plus les 7ème ,8ème ,9ème ,10ème , mois de l'année.

Au lever du jour, le 1er Janvier de l'an 45 av. J-C. c'est - à - dire aux calendes de Janvier 709 ab Urbe condita, les Romains se réveillèrent avec le calendrier le plus précis du monde.

3 . Les modification du calendrier julien : la réforme "augustéenne"

La réforme concernant les années bissextiles a été mal comprise est donc mal appliquée. Pendant plus de 30 ans, il y eut une année bissextile sur 3 au lieu d'une tous les 4 ans. Pour corriger l'erreur d'application, Auguste, petit neveu et fils adoptif de César fixe en l'an 8 av. J-C, le mode correct de comptage et ordonne la suppression de toutes les années bissextiles pendant 12 ans. C'est en l'an 5 ap. J-C. que le calendrier julien démarre vraiment et les 50 années transitoires portent le nom d'années juliennes erronées Le Sénat romain donne au mois de Quintilis (mois de naissance de César) le nom de Julius d'où Juillet et à Sextilis le nom d'Auguste, d'où Août.
Vanité d'Empereur ou flagornerie de ses partisans, le Sénat décide que le nouveau mois d'Août à l'origine de 30 jours, sera dorénavant de 31 jours comme le mois dédié à Jules César (Juillet).On dérobe 1 jour à Février (28 jours ou 29 les années bissextiles), de surcroît pour éviter 3 mois de 31 jours successifs les durées d'Octobre, Novembre et Décembre sont interverties. C'est la situation actuelle qui ne correspond donc plus à l'excellente organisation voulue par Jules César.
D'autres tentatives échouèrent, par exemple quand le Sénat propose de changer September en "Tibérius" le tyran modeste (?) répond "Que ferez - vous après le douzième empereur ?"

4 . Les défaillances du calendrier julien

Rappel l'année tropique a une durée de 365j.5h.48mn.46s.
L'année julienne fixée à 365j. 6h. prend donc du retard sur l'année julienne.
Hipparque en 130 av. J-C. avait définit l'année solaire ainsi : 365j 5h 55mn. Sosigène devait connaître ce léger retard (6h - 5h 55mn = 5mn.) de l'année julienne mais cela importait peu par rapport aux 2 mois de retard du calendrier romain traditionnel, en plus il ignoraient le concept de minute.
A ces 5 minutes de retard il convient de rajouter les minutes de décalage entre l'année définie par Hipparque et l'année tropique soit : 5h 55 mn - 5h 48mn 46s = 6mn et 14s.
Donc le décalage total est de 5mn + 6mn 14 s = 11mn 14s. Soit 3 jours en trop par siècle.

Caractéristiques du calendrier julien

Pour la première fois il y a création d'un calendrier stable, rationnel, établit selon les principes de la science.
Pour la première fois, la gestion du temps n'est plus entre les mains d'un petit groupe, d'une caste souvent religieuse et riche qui usait et abusait outrancièrement de leur privilège d'insérer les mois intercalaires en vue de gains financiers et politiques à la fois. Jules César a séparé la religion de la mesure du temps.
Il s'agit d'un calendrier valable de l'Ecosse à l'Irak, imposé par la Pax Romana , tout au moins aux commerçants, fonctionnaires, militaires, juristes, prêteurs, artisans de l'Empire.
Bref, c'est un calendrier scientifique, universel et laïque, tout au moins au début...

II/ CONSTANTIN LE VICTORIEUX OU LE TEMPS CHRISTIANISE

Contexte historique

Edit de Milan 313

C'est un Edit de tolérance, tous les habitants de l'empire peuvent exercer la religion de leur choix, y compris le christianisme qui avait été jusque là persécuté. Cet Edit permet que chacun puisse "adorer à sa manière la divinité qui est au ciel", mais le christianisme est particulièrement avantagé par l'Empereur Constantin. Il interviendra sans cesse dans les affaires de l'Eglise chrétienne. Constantin, très opportuniste, est prêt à embrasser toute religion qui servirait ses fins politiques ; l'anecdote de vision de la croix enflammée avant la bataille de Milvius à l'issue de laquelle il devient Empereur peut se rapporter au dieu des chrétiens mais aussi aux adeptes du culte de Mithra qui révèrent un symbole en forme de croix. Constantin prudent , n'attribue pas sa victoire à une seule divinité !
Toujours est-il que peu à peu le christianisme affirme sa prééminence, Constantin devient chrétien en 337 sur son lit de mort. La puissance politique et militaire de l'Etat s'unissent à une religion officielle qui va bientôt prévaloir. Constantin a mis fin à ce que César avait entrepris pour séparer la religion de l'Etat et la religion de la mesure du temps. Cela va affecter l'Europe presque jusqu'à nos jours, y compris dans la manière de compter les jours du calendrier.

Les trois innovations de Constantin.

Le choix du dimanche comme jour dédié à Dieu, la semaine de 7 jours.
Les fêtes religieuses à dates fixes.
Les fêtes religieuses à dates variables.

Dimanche et les 7 jours de la semaine.

L'édit de 321 fixe la semaine de 7 jours. Or les romains utilisaient les calendes, nones et les ides.
Cette semaine de 7 jours vient des Babyloniens(700 av J-C) et à Rome le chiffre 7, en référence aux 7 planètes connues, était accepté par les Romains.
Les Romains avaient remplacé les dieux babyloniens par leur équivalent
ex : Nabu (le scribe) par Mercure le dieu des communications.
Les Angles et les Saxons au V av. J-C prennent la semaine de 7 jours mais ils ont gardé leurs dieux nationaux.
Ex : Woden ou Wotan le dieu de la poésie a donné Wednesday.
Mais l'habitude d'utiliser les calendes, nones et les ides va durer jusqu'au XVI siècle.

L'Edit de 321 fixe aussi le Dimanche comme jour férié, pourquoi ?
Pour les païens le jour férié correspond au samedi le jour de Saturne.
Pour les juifs, dans la Genèse Dieu se repose le 7ème jour, le sabbath (samedi)
Les chrétiens pensent que Jésus a été crucifié le 6ème jour de la semaine (vendredi) et qu'il est ressuscité le 3ème jour après, soit le jour du soleil. Les germains et les Anglais ont gardé cette appellation -sonntag et sunday- Les langues latines ont préféré "le jour du Seigneur" - domingo et dimanche.
Constantin, toujours opportuniste, en attribuant le "dies solis" à l'adoration de Dieu, s'attire les faveurs de nombreux romains adeptes du culte Mithra - culte solaire. Certains chrétiens mécontents de cette association la justifient en déclarant que Dieu est la lumière du monde.
Surtout cela sépare le christianisme de son origine juive, ce que veut par exemple l'apôtre Paul qui désire en faire une religion universelle.

Fêtes à dates fixes
325 le concile de Nicée, c'est le premier concile de la chrétienté. Nicée est une ville proche de Constantinople, son nom vient du grec "nike" - la victoire - ce qui convient parfaitement à

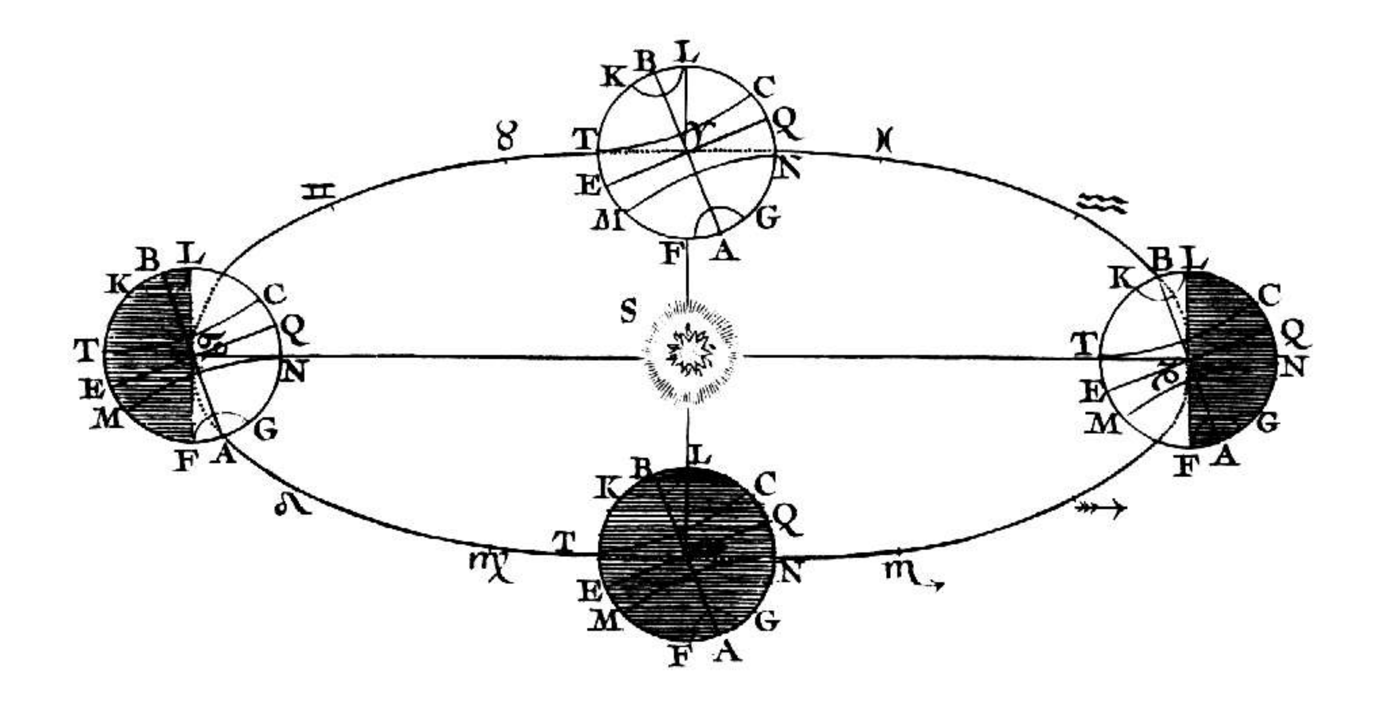
Constantin le victorieux. Le but de Constantin est de fonder une religion d'Etat, il faut donc des règles universelles tant pour le dogme que pour les fêtes.
Le concile de Nicée décide de fixer la naissance de Jésus au 25 décembre; Il s'agit de christianiser là aussi des fêtes païennes.
Le culte solaire de Mithra fête le solstice d'hiver (fixé au 25 décembre à l'époque) car les jours rallongent.
Les romains font de grandes fêtes "les Saturnales" à la fin décembre.

Fêtes mobiles
Il s'agit de décider de la date de Pâques, le jour le plus saint pour les chrétiens.
Jésus est ressuscité le 3ème jour après sa mort, un dimanche qui se trouve être le jour de la Pâque juive (Pessah). Cette date dans le calendrier hébraïque lunaire est déterminée par les phases de la lune, elle varie donc d'une année sur l'autre.
Le concile de Nicée doit résoudre cet épineux problème : comment trouver une date que tous les chrétiens fêteraient en même temps ?

Solution : le concile de Nicée déclare que la fête de la résurrection tombera le premier dimanche après la nouvelle lune succédant à l'équinoxe.
Le concile a refusé de suivre le calendrier hébraïque, il marque sa volonté de se démarquer du judaïsme dont il est issu.
Le calcul de cette date est extrêmement complexe car il nécessite de connaître les mouvements de la terre, de la lune et du soleil les uns par rapport aux autres. Les astronomes seront incapables d'effectuer ces calculs avec précision durant de nombreux siècles.
Sosigène, en établissant le calendrier julien, a fixé l'équinoxe au 25 Mars. Nous l'avons vu, le calendrier retarde de 3 jours en 4 siècles. Les Pères de l'Eglise en 325 ont constaté que l'équinoxe était le 21 Mars, ils ont attribué cela à une erreur de Sosigène. Ils ont donc lié la date de l'équinoxe au 21 Mars.
Ainsi donc la date de Pâque axée sur l'équinoxe retarde à son tour de 3 jours en 4 siècles : au XIII siècle la date de Pâque est toujours calculée à partir d'un équinoxe arbitraire du 21 Mars, alors que l'équinoxe vrai était le 14 Mars!!

Le début de l'ère chrétienne
Il faudra attendre 532 pour que le moine Denys le petit propose de faire débuter l'ère chrétienne l'année de la naissance de Jésus, an 1. La partie occidentale de l'empire comptait toujours à partir de la fondation de Rome et dans la partie orientale de l'empire on comptait curieusement à partir du règne de Dioclètien (284) le cruel persécuteur des chrétiens. Le moine Denys le petit a dû se tromper car il est plus vraisemblable que Jésus soit né en 5 ou 7 avant lui - même. Ne lui jetons pas la pierre, les sources historiques sont très lacunaires. Il ne risquait pas en tout cas de créer une année zéro pour l'excellente raison que le "zéro" était inconnu des romains.
C'est pour cette raison que le XXI siècle et le 3ème millénaire commence le 1er Janvier 2001.

La date de la fête la plus sainte du christianisme étant fausse, faut-il réformer le calendrier ? Est - il possible de réformer un calendrier fixé en concile c'est à dire par la volonté de Dieu lui - même pour les croyants ? Ces questions seront posées au XIII siècle.


K B L C Q T N E M F A G
S
B L K C T Q N E M G F A
K B L C T Q N E M G F A
B L K C Q T N E M G F A



LA REFORME GREGORIENNE
DE 1582
DE SES ORIGINES A SON APPLICATION

I/ L'OCCIDENT ET LA MISERE DES LATINS (VIII°-IX° siècle)

1°/ Document : le cadeau d'Haroun al-Rachid (766 - 809) Calife abasside et suzerain du monde, en réponse à une ambassade du souverain occidental Charlemagne.

De nombreux présents : un éléphant, une tente persane, des robes de soie, des parfums et une horloge perfectionnée en laiton *" au mécanisme admirable qui se mouvait en une durée de douze heures d'après une clepsydre, avec une multitude de petites billes de bronze qui tombaient à chaque heure en faisant retentir une cymbale placée dessous ; on voyait aussi les statuettes de douze cavaliers, chacun portant à tour de rôle une lucarne et refermait la lucarne de l'heure écoulée."* D'après une source ancienne anonyme.

Quelle impression ces présents ont-ils produit sur Charlemagne ? ....
....

2°/ Charlemagne, voulant imiter César et Constantin, a entrepris une réforme du calendrier.
En utilisant le document suivant vous indiquerez le contenu de cette réforme.
"Ci-gît la dépouille de Charles le Grand Empereur, qui étendit glorieusement le royaume des Francs et régna avec bonheur pendant quarante - sept ans. Il trépassa à l'âge de soixante-dix ans, en l'an de Notre Seigneur 814 le 28° jour de Janvier."
Inscription sur la pierre tombale de Charlemagne à Aix-la-Chapelle.

3°/ En l'an 800 couronnement de Charlemagne le jour de Noël à Rome par le pape Léon III.
Quelles conséquences cette alliance du pouvoir civil et religieux va-t-elle avoir ?

- ....
- ....
- ....

II/ L'ORIENT ET LA "MAISON DE LA SAGESSE" DES MUSULMANS

1°/Travail sur la carte ci-jointe

1°/ Situer : ***Rome***, ***Byzance***, ***Alexandrie***.
2°/ Situer ***Bagdad***.
3°/ Dans deux cadres notés à partir de Bagdad vous indiquerez :

• **Le nom des trois grands califes abbassides** :
Al-Mansur fondateur de Bagdad, il meurt en 775 ;
Haroun-al-Rachid (789 - 809) ;

Al-Mamun (809 -833) fondateur de la " maison de la sagesse".

• **" la Maison de la Sagesse "** :

C'est un musée et une bibliothèque, la plus vaste collection d'œuvres depuis Alexandrie, elle rassemble tous les scientifiques de renom et reçoit des connaissances depuis la Chine et l'Inde.

4°/ Indiquez par une flèche le parcours d'une mission diplomatique venant de la basse vallée de l'Indus vers 773 (par voie maritime le long des côtes de l'Iran actuel, le golfe persique au port d'Abadan, puis remonter le Tigre sur 300 km jusqu'à Bagdad).

5°/ Dans un cadre lié à la mission diplomatique indiquez Kanaka, astronome indien, il apporte avec lui une petite bibliothèque d'astronomie indienne : "la Sunya Siddhanta" table d'astronomie. Al-Mansur le fait traduire en arabe sous l'appellation "Grand Sindhind" déformation arabe du terme sanscrit "Siddhanta".

6° /Indiquez par des flèches l'origine géographique (Inde, Grèce dont les savants expulsés en 529 se sont réfugiés en Perse, où ils ont transmis leur savoir aux conquérants arabes) des connaissances qui ont convergé vers Bagdad et la Maison de la Sagesse au VIII°-IX° siècle, puis leur expansion au XI° - XII° siècle vers la Sicile à Palerme et aussi à Cordoue.

7°/ Noter sous la carte la légende.

8°/ Vous noterez sous la carte en quelques lignes l'origine et la propagation des connaissances dans le monde musulman et les raisons de l'intérêt de celui-ci pour de telles connaissances.

2°/ Les connaissances des astronomes et mathématiciens arabes.

Al –Khwarizmi 780-850	**Al – Battani 850-929**	**Al – Buruni 973-1048**	**Omar Khayam 1048-1131**
Astronome de la Maison de la Sagesse	Estimation du temps annuel à 2 mn près.	Mesure de latitudes très précises	Estimation de l'année solaire : 365,242119858156J.
Invente l'algèbre	Variabilité des distances terre/soleil au cours de l'année.	Traité sur la chronométrie.	
Tables astronomiques à partir de celles de Kanaka		Analyse critique des mathématiciens indiens, des Sinddhantas et de Ptolémée.	
Algoritmi de numero indorum(doc)* 825			

*On ignore les symboles exacts qu'utilisait al-Khwarizmi, nous n'avons que la traduction en latin.

Quelles remarques pouvons-nous en retirer ?

- ....
- ....
- ....

III/ LES DIFFICULTES POUR ENVISAGER UNE NOUVELLE REFORME

1°/ Repérer sur la carte les bastions avancés de la culture arabo-musulmane face au monde occidental :

- IX° siècle, ***Cordoue***.
- XI° siècle la ***Sicile*** d'abord sous domination musulmane puis sous l'autorité des rois Normands (1072) attire tous les savants, philosophes, astrologues.

2°/ Indiquer sur la carte les grands centres de traduction dans le monde occidental:

- Le monastère du ***Mont-Cassin***.
- ***Palerme***.
- Le monastère de ***Sainte Marie de Ripoll*** dans les Pyrénées.

3°/ Mais le savoir oriental pénètre très lentement en Occident.
Très peu d'ouvrages en provenance de Bagdad, Cordoue ou Palerme arrivent en Occident avant le XII° siècle et l'intérêt de leur contenu n'est pas toujours bien compris.

• ***Gerbert d'Aurillac*** (946-1003).

• ***Herman le boiteux*** (1013-1054), moine savant, près de Constance en pays de Bade, a écrit un article époustouflant pour l'époque : "L'insurmontable vérité de la nature".
"D'où vient que, (...) la pleine lune apparaît dans le ciel la plupart du temps un jour, parfois deux, avant la date prévue ?"

• ***Gérard de Crémone*** (1114-1187), traducteur connaissant l'arabe le grec, donna la version latine des ouvrages de Galien, Aristote, Euclide, al-Khwarizmi et Ptolémée. Il trouva tous ses ouvrages à Tolède reconquise par les chrétiens.

Pourquoi ces connaissances étaient-elles souvent rejetées, ou mal assimilées ?
....
....

Voici un exemple pour illustrer la confusion durable dans l'utilisation des chiffres de style arabe
Document datant de 976 : chiffres de 1 à 9 en style arabe occidental.

Il faut attendre le XV° siècle pour que les chiffres indo-arabes aient leur forme actuelle. Les documents suivants montrent sans conteste que les progrès ont été long et laborieux :

- Fin XV° siècle voilà la durée de l'année indiquée dans un calendrier :
  CCC et soixante jours et 5 à 6 heures à peu près.
- Quelle est l'année indiquée de cette manière ?
  MCCCC94 : ....

* Même question :
  1V0II : ....

- Tableau d'un peintre néerlandais vers 1400-1475, indique la date suivante :
  MCCCC4XVII : ....

Remarque :

4°/ Ligne de partage entre les deux vérités.
Il s'agit de la vérité selon l'Eglise et de la vérité selon la raison.

222



Travail préparatoire une semaine avant le module

- Vous devez lire tous les textes proposés dans les feuillets ci-joints. En voici la liste :
  - Extrait d'un ouvrage de David E. Duncan , Le temps conté, Ed. Nil éditions, à propos d'Abélard et de Saint Bernard de Clairvaux.
  - Extraits du même ouvrage à propos d'Averroès.
  - Extraits du même ouvrage à propos d'Alexandre de Villedieu.
  - Biographie de Johannes de Sacrobosco.
  - Biographie de saint Thomas d'Aquin.
  - Biographie de Robert Bacon, extrait du livre de D.E. Duncan à propos de Bacon et deux extraits d'un ouvrage de Bacon.

- Vous devez chercher les définitions de tous les termes soulignés, dans un dictionnaire puis les noter et les retenir.
- Ensuite vous indiquerez dans un tableau les noms des intellectuels qui défendent l'une ou l'autre thèse à savoir ceux qui défendent le respect de la vérité religieuse et ceux qui voudraient que la vérité scientifique soit mise en avant. Certains auteurs peuvent avoir un avis nuancé, vous pouvez les indiquer dans le deux colonnes.
- Une partie des élèves va extraire les arguments défendant la thèse n°1(vérité divine), et l'autre partie les arguments concernant la thèse n°2 (vérité scientifique).
- Ce travail doit être réalisé à l'écrit. Pendant le module vous exposerez cela sous forme d'un débat argumenté aussi virulent que le combat profane/ sacré qui à duré du Moyen - âge à la Renaissance.

Au moyen âge deux voies divergentes s'offrent aux penseurs : soit la recherche de la vérité par l'expérience , l'observation de la nature, soit la vérité admise par l'Eglise comme un dogme donc incontestable. Il s'agit de l'opposition la vérité selon la nature et la raison, par opposition à la vérité selon la foi, le combat profane, sacré qui perdurera jusqu'à Galilée et même sans doute bien après lui.

Voici les documents proposés :

1 . *Dans une publication telle que "sic et non" (ainsi et en opposition) Abélard* dénonce les absurdités émises par les théologiens sur certains points fondamentaux du dogme** (...) il récuse les vues officielles sur la nature de Dieu, celle du Christ et celle de l'Esprit saint. Ce problème très sensible avait été réglé par le concile de Nicée en 325 sous l'empereur Constantin. Inculpé pour hérésie, Abélard se retira dans un ermitage et devient abbé, sans jamais fléchir ses détracteurs. Menés par saint Bernard de Clairvaux (1090-1153), ils le firent à nouveau condamner. Chef d'un mouvement réclamant toujours plus de mysticisme et de confiance dans la foi, saint Bernard (...) vitupérait ceux qui étudient " seulement pour savoir" et blâmait "une telle curiosité". Appelant Abélard "l'hydre de la perfidie" il jetait l'anathème contre toute science inutile au service de l'Eternel et affirmait que la seule connaissance nécessaire était dans "la conscience pure et la foi sincère"*

Extrait d'un ouvrage de David E. Duncan "Le temps conté" Ed. Nil éditions.

****Abélard** : (1079-1142) Philosophe et théologien*

***Dogme de la Trinité :*

" Nous croyons en un seul Dieu, Père tout-puissant (...) et en un seul Seigneur, Jésus-Christ, le fils de Dieu (...) Dieu véritable de même nature que le père. (...) et au Saint-Esprit qui procède du père."

Extraits des deux conciles de Nicée en 325 et de Constantinople en 381

2. Ibn-ruchd dit Averroès (1126-1198)
Biographie : Philosophe arabe ayant vécu à Séville et à Cordoue. Ses positions philosophiques lui valurent bien des attaques, en effet si ses oeuvres se composent de commentaires d'Aristote, il en développa surtout les aspects matérialistes et rationalistes. Sa philosophie fut enseignée à l'Université de Paris, elle fut condamnée en 1240 par l'Eglise et en 1503 par le pape Léon X.

Averroès développa une argumentation propre à résoudre le dilemme sacré-profane ; il soutient que deux vérités contradictoires peuvent coexister, l'une relative à la science et à la "raison naturelle", l'autre à la "révélation":

"Ergo (donc) en présence d'un conflit, on se bornera à dire : "voici la conclusion à laquelle me conduit ma raison philosophique, mais Dieu ne pouvant mentir, j'adhère à la vérité révélée par Lui et je m'y maintiens à l'aide de ma foi".

Au début, les autorités religieuses des deux cotés des Pyrénées se contentèrent de froncer les sourcils devant cette théorie de la "double vérité"

Mais bientôt des prédicateurs, dans l'Europe chrétienne aussi bien que dans le califat de Cordoue se déchaînèrent, avançant qu'Aristote n'était pas Dieu, mais un simple mortel, donc faillible ; évêques et imans s'offusquèrent de voir affirmer que la science allait de pair avec la vérité divine.(...) Selon Averroès la science ayant prouvé que Dieu était le moteur de l'univers, il fallait voir en Lui une "machine" sans intervention dans les affaires humaines.(...) Une semblable théorie allait à l'encontre de convictions aussi capitales pour les chrétiens que pour les musulmans d'un Dieu actif complètement engagé dans la vie des humains.

Extrait d'un ouvrage de David E. Duncan le temps conté Ed. Nil éditions.

3. Alexandre de Villedieu (vers 1200)
Biographie : Mathématicien et encyclopédiste normand.

Il avança la thèse qu'il existait une double vérité sur l'estimation du temps. Il en savait assez pour employer les nombres indiens et pour suivre les thèses d'Averroès (sans le dire !). A l'instar de celui-ci, il divise les mesures du temps en deux catégories : ce qu'il désigne du terme "computus philosophique", c'est-à-dire mesure selon des critères scientifiques qui sont infaillibles, et le"computus ecclésial, qui est la méthode de diviser le temps selon la coutume de l'Eglise". Le circonspect Normand évite les périls d'une controverse sur ses distinctions en prévenant les lecteurs qu'il n'entre pas dans ses intentions de discuter le "computus philosophique et qu'il se cantonnera à celui de l'Eglise."

Extrait d'un ouvrage de David E. Duncan le temps conté Ed. Nil éditions.

4. *"Depuis que le grand Concile de Nicée a fait l'interdiction de toute modification du calendrier, les doctes de notre temps sont obligés... de tolérer les erreurs."*
Biographie : Johannes de Sacrobosco (1195-1256) Moine anglais connu aussi sous le nom de Jean de Holywood ou Jean de Halifax. Il prouva les erreurs du calendrier aux minutes et secondes près au moyen d'un astrolabe et grâce à de solides connaissances en mathématiques et astronomie arabes, grecques et indiennes. Mais il considère que les savants doivent accepter ces erreurs, l'Eglise étant la seule détentrice de la vérité.

5. Saint Thomas d'Aquin (1225-1274)
Biographie : Théologien et philosophe italien, il étudia à l'abbaye du Mont-Cassin puis à Naples où se développait la connaissance des philosophes arabes. Son œuvre constitue peut-être la tentative la plus complète du Moyen âge pour accorder la foi et la raison , les dogmes du christianisme et les théories d'Aristote. Mais il critiqua les thèses d'Averroès dans son œuvre la "Summa theologica" ; sa

philosophie (thomisme) est considérée comme la position officielle de l'Eglise catholique, il fut canonisé en 1323. Dans un premier temps sa philosophie rassura les savants comme Alexandre de Villedieu ou l'anglais Johannes de Sacrobosco (Jean de Holywood) qu'incommodait les vérités contraires au enseignement de l'Eglise car Thomas d'Aquin maintient la supériorité de la théologie et de la foi. Mais dans un deuxième temps ses idées étaient la porte ouverte à une réelle recherche scientifique de la réalité. Cependant cette quête scientifique aurait certaines limites, comme Bacon (XII° siècle) et Galilée au XVII° s'en rendront compte.

6 . Robert Bacon (1214-1294)
Biographie : Théologien et philosophe anglais, les études qu'il fit à Paris l'orientèrent vers les sciences mathématiques et naturelles. Mais son enseignement et la publication de ses oeuvres furent interdites par l'Eglise. Auteur de divers traités, dont l'Opus majus (1265-1267) rédigé à la demande de son protecteur devenu le pape Clément IV, où il exposa les erreurs du calendrier julien, mais à l'opposé de son contemporain Johannes de Sacrobosco qui les tolérait, lui il s'indigne d'un tel calendrier qui sème la confusion dans toute la chrétienté. Il pense que le refus d'adhérer à la science est une offense à Dieu et une cause du désarroi des chrétiens face à la supériorité des arabes. Il veut des réformes du calendrier, assez de discussions il faut passer à l'action.

"Les contemporains de Bacon effrayés par ses thèses l'assignèrent à résidence, pis encore, lui firent défense d'enseigner ou d'écrire pour l'astreindre à de basses besognes au sein de leur monastère. On allait parfois jusqu'à le priver de nourriture. En 1265 un certain Gui Foulques (...) eut connaissances de ce moine cloîtré ; on ne sait non plus pourquoi ce cardinal s'était intéressé à ses idées, encore moins s'il les partageait ou les approuvait. En tout cas il lui demanda de lui envoyer ses réflexions par écrit .(...) Il y eut mieux : quelques mois plus tard Gui Foulques était élu pape sous le nom de Clément IV. Désormais libre de poursuivre ses recherches, Roger Bacon s'engagea à rédiger un traité. Après deux ans de travail fiévreux, il adressa au pape un ouvrage monumental appelé Opus majus (œuvre majeure) contenant entre autre les défauts du calendrier et son ambition "de corriger le calendrier".(...) Nous ne savons pas ce que fut la réaction de Clément IV, car il mourut soudainement le 29 novembre 1268. Les autorités du Saint-Siège ignorèrent Bacon dont Grégoire X, le successeur de Clément IV, ne devait jamais faire mention, pas plus que de ses écrits. Ce fut le silence absolu.

Extrait d'un ouvrage de David E. Duncan le temps conté Ed. Nil éditions.

"Et c'est la cause que la fête de Pâques, par laquelle le monde obtient son salut, ne sera pas célébrée à la date appropriée et qu'au contraire on jeûnera pendant toute la semaine après la Résurrection. Car le Carême durera huit jours de plus qu'il ne devrait. Il s'ensuit un autre inconvénient que le jeûne de Carême a commencé huit jours trop tard et que les fidèles ont absorbé des viandes pendant la semaine de jeûne, ce qui est absurde.(...) Ce qui à eu lieu en notre année 1267 se répétera l'année suivante."

Extrait de l'Opus majus

Suite de sa biographie : Ses idées philosophiques mettent en question les idées reçues, Bacon veut s'en remettre avant tout à l'expérience et non plus seulement à l'autorité de l'Eglise. Tout cela fait de lui un précurseur de la pensée moderne expérimentale, il est en avance de plusieurs siècles sur son époque. Pour de telles position il sera emprisonné de 1277 à 1292, jusqu'à l'âge de 80 ans. Il gardera toujours son esprit de contestation et son attachement à la valeur de l'expérience, sa passion de la vérité fera de lui un modèle pour les humanistes et les Lumières.

"Si, n'ayant jamais vu le feu, quelqu'un déduit par le raisonnement qu'il brûle et qu'il modifie les choses et les détruit, l'esprit de son auditeur ne sera entièrement convaincu de la valeur de sa démonstration et que le feu brûle qu'une fois qu'il aura placé la main sur un combustible enflammé et appris par l'expérience ce que le raisonnement lui aura enseigné. Mais à peine l'épreuve de la combustion aura - t - telle pris place dans son esprit qu'il sera persuadé des lumières de la vérité et qu'il s'y conformera. Le raisonnement ne suffit pas l'expérience est nécessaire."

Extraits de l'Opus majus

IV/ La réforme grégorienne et son application en 1582

1°/ Des circonstances plus ou moins favorables

• Au début du XVI° siècle quelle est l'importance du décalage entre le calendrier julien et l'année solaire ?

....

....

• Quel rôle la montée des protestantismes va-t-elle jouer concernant l'affaire du calendrier?

....

....

• Quel est l'impact du livre de Copernic "*De revolutionibus*" ?

....

....

2°/ Qui va résoudre l'énigme du temps ?

• Document 1/ Portrait de Clavius. ....

....

....

• Document 2/ Biographie de Lilius ....

....

....

• Grégoire XIII : ....

....

....

• Document 3/ Peinture conservée aux archives de Sienne, montrant la commission calendaire en train d'expliquer la réforme.

....

....

....

3°/ Adoption du calendrier grégorien

• Quelles en sont les modalités ? ....

....

• Comment rattraper le retard ? ....

....

....

• La règle du siècle bissextile : ....

....

....

....

• La date de l'équinoxe est maintenue : ....

....

4°/ ... et les diverses réactions qu'il provoqua

	Année de la réforme	Date et nombre de jours supprimés	Réactions /curiosités
Italie/ Espagne / Portugal			
France			
Pays-Bas catholiques			
Allemagne /Suisse états catholiques			
Pologne			
Etats protestants d'Allemagne, des pays-bas et de Suisse			
Suède			
Angleterre			
Japon			
Chine			
URSS			
Turquie			

ANNEXES



Document 1 : Portrait de *Clavius*

Document 2 : Biographie de *Lilius*

Le véritable concepteur du calendrier grégorien était un universitaire de Padoue, *Luigi Lilio*, latinisé en *Alyosius Lilius*, qui n'était pas membre de la commission pontificale.
Il meurt en 1576, trop tôt pour voir triompher ses idées. A sa mort, son frère sauva son projet de réforme de l'oubli, en le remettant au pape *Grégoire XIII*.

Document 3 : La commission calendaire



Corrigé et compte-rendu de l'activité
"LA REFORME GREGORIENNE"

I/ L'OCCIDENT : LA MISERE DES LATINS (VIII°- IX° SIECLE)

Document : le cadeau d'Haroun al-Rachid (766 - 809) Calife abbasside et suzerain du monde musulman en réponse à une ambassade du souverain occidental Charlemagne.

Cela souligne l'état arriéré de l'Europe, déplorant cela Charlemagne développa l'instruction et les recherches intellectuelles qui n'étaient plus favorisées depuis la chute de Rome au V° siècle.

Pour imiter César et Constantin il entrepris une réforme du calendrier, signe d'un nouvel ordre politique et religieux. Il a officialisé dans tout l' Empire romain germanique la datation par "anni domini nostri Jesu Christi " que Denys le petit avait préconisait en 532 par référence à l'année de naissance du Christ. A l'époque de Denys le petit, l'année 531 de l'ère chrétienne correspondait à l'année 247 après Dioclétien (anno Dioclétiani) or cet empereur avait persécuté les chrétiens, d'où la volonté logique de l' évêque Denys de compter à partir de la naissance du sauveur. Mais l'usage ancien dura longtemps, par exemple les Coptes d'Egypte en 2000 sont eux en l'an 1716 de l'ère des martyrs !!

En illustration l'inscription sur la pierre tombale de Charlemagne à Aix-la-Chapelle.

En l'an 800 Charlemagne est couronné en public Empereur par le Pape Léon III le jour de Noël à Rome. Cette alliance de pouvoir civil et du pouvoir religieux va avoir une triple conséquence :
La défense du catholicisme en Occident est renforcée : tout chrétien doit se conformer aux directives de Rome.
Les monarques détiennent leur légitimité du droit divin.
La papauté détient l'autorité sur la foi qui englobe la science à l'époque, donc la science chronologique et le calendrier.

Si l'on veut réformer le calendrier il faudra désormais en référer au Saint Siège ; ce que tentera Robert Bacon au XIII° siècle...

II/ L'ORIENT ET " LA MAISON DE LA SAGESSE " DES MUSULMANS (IX° - XII°SIECLE)

1/ Il s'agit ici d'un travail sur une carte pour visualiser le déplacement des centres culturels depuis l'antiquité et pour mettre en évidence le rôle de certains savants l'origine et la propagation des connaissances dans le monde musulman

Situer : **Rome, Byzance, Alexandrie**. Les faire souligner d'une teinte claire pour marquer leur déclin. Rome subit les attaques des barbares au V°, Byzance se replie sur elle même, en 529 l'Académie d'Athènes est fermée par décision de l'Empereur Cassiodore et ses scientifiques dispersés (beaucoup ont fuit en Perse) cela marque le début du déclin de l'empire romain d'Orient, Alexandrie centre culturel et chrétien important mais perd de son éclat (NB. Sa bibliothèque de 700000 volumes avait brûlé à l'époque de César).
A retenir : les conceptions grecques, indiennes et perses de l'estimation du temps et de l'astronomie sont mises en application par les arabes notamment pour le calcul de l'heure de la prière 5 fois par jour et pour que les mosquées soient correctement orientées vers la Mecque. D'où les améliorations qu'ils ont apporté à des instruments légués par les grecs comme l'astrolabe, le gnomon et le globe, qui facilite le calcul des angles par rapport au soleil aux différents moments de la journée.

2/ Remplir le tableau avec les élèves ou leur donner déjà complété.

Conclusion :
Les astronomes musulmans approchent de la vérité dans les estimations de l'année solaire.
Les européens s'en soucient fort peu par manque de connaissances.
Mais les savoirs accumulés à Bagdad et à Cordoue vont déborder en Occident peu à peu, du X° au XII° siècle.

III/ LES DIFFICULTES POUR ENVISAGER UNE NOUVELLE REFORME

IX° siècle, Cordoue, où la nouvelle bibliothèque d'Abd-al-Rahman III contient 400000 volumes ; elle pouvait rivaliser avec celle d'Alexandrie au temps de sa splendeur.
XI° siècle la Sicile, d'abord sous domination musulmane puis sous l'autorité des rois Normands (1072), attire tous les savants, philosophes, astrologues.

Gerbert d'Aurillac (946-1003) deviendra Pape sous le nom de Sylvestre II, il était aussi un traducteur remarquable, il rapporta d'Espagne du Nord les traductions latines de traités arabes sur l'abaque et l'astrolabe.

Herman le boiteux (1013-1054) moine savant près de Constance en pays de Bade a écrit un article époustouflant pour l'époque : "L'insurmontable vérité de la nature".
"D'où vient que, (...) la pleine lune apparaît dans le ciel la plupart du temps un jour, parfois deux, avant la date prévue ?"
A l'aide de l'astrolabe, nouveauté pour l'occident, et d'un cadran solaire à colonnette de sa fabrication, il met en évidence le décalage entre le calendrier canonique et la marche des astres : "vérité de la nature". Cependant il n'arrive pas à rendre par ses calculs les mouvements des astres. Mais il ne voulait pas pour autant remettre en cause le calendrier canonique car cela revenait à s'attaquer à Dieu !!

Gérard de Crémone (1114-1187) traducteur connaissant l'arabe et le grec, donna la version latine des ouvrages de Galien, Aristote, Euclide, al-Khwwarizmi et Ptolémée. Il trouva tous ses ouvrages à Tolède reconquise par les chrétiens.
Le problème essentiel était souvent le rejet pour des ouvrages provenant d'infidèles, ou alors leur mauvaise compréhension, il faut préciser que certains ouvrages parvenaient de façon incomplète ou erronée en occident.
Voici un exemple pour illustrer cela :
Document datant de 976 : chiffres de 1 à 9 en style arabe occidental.

En 995 Gerbert d'Aurillac enseigne ces chiffres à ses élèves sans succès. La plupart des personnes n'en voyait pas l'utilité, voire les jugeaient inquiétants, code secret que les orientaux utiliseraient pour nous tromper...
Il faut attendre le XV° siècle pour que les chiffres indo-arabes aient leur forme actuelle. Les documents suivants montrent sans conteste que les progrès ont été long et laborieux :
Fin XV° siècle voilà la durée de l'année indiquée dans un calendrier
CCC et soixante jours et 5 à 6 heures à peu près.
Un auteur indique l'année 1494 de la façon suivante :
MCCCC94
Ou encore 1502
1V0II
Tableau d'un peintre néerlandais vers 1400-1475 avec la date suivante :
MCCCC4XVII / 1447 ?
Donc les progrès scientifiques nécessaires à l'établissement d'un calendrier plus juste sont loin d'être mis en place en occident.

Ligne de partage entre les deux vérités

Au moyen âge deux voies divergentes s'offrent aux penseurs : soit la recherche de la vérité par l'expérience , l'observation de la nature, soit la vérité admise par l'Eglise comme un

dogme donc incontestable. Il s'agit de l'opposition, la vérité selon la nature et la raison, par opposition à la vérité selon la foi, le combat profane, sacré qui perdurera jusqu'à Galilée et même sans doute bien après lui.
Pour faire saisir cela aux élèves nous travaillerons sur des textes courts, soit des sources directes, soit des commentaires sur des auteurs anciens. Les élèves devront confronter ces documents pour ensuite classer les idées, extraire les arguments en deux rubriques : la vérité selon l'Eglise et la vérité selon la raison.
L'ensemble de ces documents est donné aux élèves une semaine avant la date du module. Ils doivent les lire, puis tous les termes soulignés devront être cherchés dans un dictionnaire. Ensuite les élèves devront pour la moitié d'entre eux indiquer sur une feuille toutes les personnes et leurs idées qui demeurent attachées à la vérité selon l'Eglise et l'autre moitié des élèves devra agir de même avec les auteurs et les idées défendant la vérité selon la nature et la raison. Le module ainsi préparé fonctionnera comme un débat argumenté avec au fur et à mesure le remplissage du tableau sous la direction des élèves. On peut aussi envisager, pour alléger le travail de préparation des élèves, de ne donner que certains auteurs à préparer aux élèves, ils auront tous cependant lu les documents et cherchés les mots difficiles. Le professeur peut ainsi adapter le module aux différents niveaux de compétences de ses élèves, à cette époque de l'année (2ème trimestre) les techniques du débat mises en place en ECJS peuvent sans doute être réinvesties.

IV/ : LA REFORME GREGORIENNE DU CALENDRIER ET SON APPLICATION -1582-

Des circonstances plus ou moins favorables :

Au début du XVI° siècle le calendrier subissait un écart de plus de 9 jours depuis le concile de Nicée, L'équinoxe fixé au 21 mars à Nicée en 325 avait lieu en fait vers le 12 mars. Si l'on ne savait plus calculer l'erreur avec compétence, elle était connue des intellectuels de l'époque. Quand, comment et qui se chargerait de la corriger ?

En 1514 la pape Léon X veut réformer ce calendrier que "des juifs et des hérétiques" déclarent mensonger. Le projet de réforme qu'il envoie aux souverains les plus importants de la chrétienté ne reçoit aucune réponse, donc échec de cette première réelle tentative de réforme.

La montée du protestantisme en 1517 avec le moine Luther qui dénonce les abus commis par l'Eglise va retarder de 60 ans le règlement de l'affaire du calendrier. Pour réagir contre les protestantismes le Saint-Siège pris des mesures sévères pour éviter la propagation des l'hérésies protestantes. Ce fut la Contre-Réforme et l'Eglise ne s'intéressa plus au calendrier.

En 1543 la publication de l'ouvrage de Copernic "De revolutionibus" ne provoqua pas de controverse, il faut préciser que peu de gens étaient aptes à le comprendre et la préface rajoutée sans son autorisation, précisait qu'il s'agissait d'hypothèses. Toujours est-il que les astronomes qui ont lu cet ouvrage s'intéressaient plus à son estimation fort précise de l'année (365,2425jours, la valeur exacte à l'époque étant de 365,2422 jours) et aux mesures des phases lunaires, qu'au débat entre les partisans de l'héliocentrisme et ceux du géocentrisme. Deux inconnus, un mathématicien et un médecin sous l'autorité d'un pape vont utiliser certains points de l'ouvrage de Copernic pour trouver enfin une solution au problème du calendrier.
NB. Les élèves pourront ici réutiliser leurs connaissances découvertes dans leur dossier sur l'histoire de l'astronomie, et le cours d'histoire concernant le thème l'homme à la Renaissance.

Qui va résoudre l'énigme du temps?

Le document élève propose trois documents d'après l'ouvrage "*La saga des calendriers*" de J. Lefort.
Le portrait, la rapide biographie, de ces deux personnages méconnus nous montrent un Clavius jésuite et mathématicien allemand, c'est lui qui a guidé cette réforme à travers tous les problèmes scientifiques et théologiques qu'elle a déclenchée. Il a aussi expliqué et diffusé le calendrier au - delà des 2 ou 3 nations qui l'avaient adopté tout de suite. En sa qualité d'astronome du Saint-Siège, il réussit à éviter un conflit entre les points de vue divergeants de Copernic et de Ptolémée. Plutôt partisan de Ptolémée il aida cependant Galilée au début, celui-ci le jugeait "digne d'une célébrité impérissable". Cependant il est oublié aujourd'hui de même que Lilius, médecin féru d'astronomie . Celui-ci a conçu une réforme très simple et très souple. Etant décédé en 1576, c'est son frère qui soumit son projet devant la commission calendaire.
Le troisième personnage est Grégoire XIII. L'histoire donnera son nom à la réforme mais pourquoi ce pape et pas un autre ? Il voulait appliquer les réformes mises en place par les conciles. Le concile de Trente qui mit en place la contre réforme (1545-1563), avait marqué la nécessité de réformer le calendrier. C'est ce que fit Grégoire XIII.
Ces trois personnages contribuèrent donc à une réforme destinée à ne porter que le nom d'un seul.
Le troisième document est une peinture exécutée l'année de la réforme grégorienne, et conservée aux archives de la ville de Sienne. Elle expose les raisons de l'abandon du calendrier julien. On remarque l'un des membres de la commission (peut-être Clavius?) réunie par le pape, qui désigne les dix jours de retard du calendrier julien (sur l'arc supérieur) accumulés par rapport à l'année tropique (sur l'arc inférieur) depuis le concile de Nicée en 325. Les deux signes du zodiaque, le scorpion et la balance, désignent le mois d'octobre, auquel on allait enlever 10 jours afin de ramener la date de l'équinoxe de printemps au 21 mars.

Adoption du calendrier grégorien...

Afin de rattraper l'avance que le calendrier julien avait prise sur le soleil depuis le concile de Nicée en 325 et de ramener l'équinoxe de printemps au 21 mars, Lilius préconisa la suppression de 10 jours du calendrier, soit d'un seul coup, soit sur une période de 40 ans, à partir de 1584, en supprimant les années bissextiles. Clavius opta pour la première solution.
La commission décida de garder la périodicité du calendrier julien : les années bissextiles seront toujours tous les 4 ans, quand le millésime de l'année est divisible par 4, sauf les années séculaires qui ne seront bissextiles que si leur millésime est divisible par 400. C'est la règle du siècle bissextile : on annule 3 jours du calendrier tous les 400 ans par l'abandon du jour supplémentaire dans 3 années séculaires sur 4. Ainsi 1700, 1800 et 1900 n'ont pas étaient bissextiles, mais 2000 l'a été.
En souvenir du concile de Nicée on conserva la semaine ainsi que la date du 21 mars pour l'équinoxe, c'est pour cela que 10 jours ont été supprimés pour que le 21 mars corresponde effectivement à l'équinoxe.

...et les diverses réactions qu'il provoqua.

Dans les pays attachés au catholicisme romain la réforme a été aussitôt appliquée : en Italie, Espagne et Portugal. Le lendemain du jeudi 4 octobre 1582 fut le vendredi 15 octobre 1582 : Sainte Thérèse d'Avila est décédée dans la nuit du 4 au 15 octobre 1582 !
Bien évidemment les pays protestants ont mis beaucoup plus de temps à appliquer cette réforme. Ainsi en Angleterre il faudra attendre 1752. Cervantes est décédé en 1616 à Madrid à la même date que William Shakespeare : lequel est mort avant l'autre ? Shakespeare est décédé à une date du calendrier julien donc forcément 10 jours avant la même date dans le calendrier grégorien !

En France elle fut appliquée avec un peu de retard. Sous Henri III, le lendemain du dimanche 9 décembre fut le lundi 20 décembre 1582.
Aux Pays-Bas catholiques la réforme eut pour effet que le 1er janvier 1583 tomba le lendemain du 21 décembre 1582 : il n'y eu donc pas de Noël 1582 aux Pays-Bas !
"Hier, par ordonnance royale, il a été annoncé à cette cité que la journée d'hier serait celle du nouvel an, donc le 1er janvier. De sorte que ceux d'ici n'auront pas eu de fêtes de Noël cette année...
Bruges, le 23 décembre 1582, stilo anlgio (selon le mode anglais) ce qui est en ce pays le 2 janvier 1583."
Dans les états catholiques d'Allemagne et de Suisse la réforme eut lieu en 1584.
En Pologne, pourtant très catholique, la réforme n'eut lieu qu'en 1586.
Les états protestants des Pays-Bas, d'Allemagne et de Suisse s'alignèrent sur le nouveau calendrier vers 1700.
La Suède agit de même en 1752.
Il ne faudra pas moins de 70 ans pour que les îles britanniques finissent par accepter le système grégorien. Cela s'explique par l'orgueil d'avoir fondé une nouvelle religion (l'anglicanisme) et par le rejet marqué des catholiques. Cependant, au XVIII° siècle la Grande -Bretagne devenait une puissance de rang international et la différence entre "nouveau style et ancien style" était de plus en plus insupportable. Le lendemain du mercredi 2 septembre 1752 fut le jeudi 14 septembre 1752, en effet le retard accumulé à cette date était de 11 jours. Cela provoqua des émeutes, car l'année avait commencé 3 mois plus tôt afin d'aligner le jour de l'an au 1er janvier et d'abandonner le 1er avril traditionnel. D'où beaucoup de manifestants réclamèrent : "Rendez-nous nos 3 mois ; rendez-nous nos 11 jours..."
Au Japon, on adopta pour les actes officiels seulement le calendrier grégorien qu'à partir de 1873. Cela correspond à la volonté du nouvel empereur, Mutsuhito, de se mettre à l'école de l'occident (ère Meidji; du gouvernement éclairé).
La Chine adopte la réforme en 1912 (république), mais seul le régime communiste en octobre 1949 réussit à imposer la réforme.
L'URSS passe directement du mercredi 1er février 1918 au jeudi 14 février ; c'est pourquoi la révolution d'octobre 1917 est fêtée au mois de novembre, ayant eu lieu le 24 octobre1917, cela correspond au 6 novembre 1917 du calendrier grégorien.
La Turquie se rallie au nouveau calendrier en 1924.

Conclusion générale :

On estime que le calendrier grégorien est en usage dans le monde entier actuellement. Il subsiste des calendriers locaux pour des raisons religieuses ou para-religieuses (fêtes) ou tout simplement par tradition.
Le calendrier édicté par Jules César, il y a plus de 2000 ans, modifié par un pape 16 siècles plus tard est donc la mesure universelle du temps, exception faite de quelques tribus isolées.
Cette épopée de la mesure du temps nous a mené de l'Egypte, en passant par Babylone, l'Inde, le monde arabe, jusqu'à l'Europe de la Renaissance. Cette poursuite de la mesure exacte du temps d'après les positions du soleil, des phases de la lune, s'effectuait selon les époques à l'aide de gnomons, astrolabes, clepsydres, horloges à balancier ou à ressort, horloge à quartz.

Depuis 1972, le temps atomique a remplacé le temps officiel mondial. Dans le bâtiment 78 de l'observatoire de la marine des Etats-Unis à Washington, le temps est mesuré grâce à un fragment de césium : une année correspond à 290.091.200.500.000.000. oscillations du césium atomique.



REFORME DU CALENDRIER JULIEN ET FRACTIONS CONTINUES



"Notre calendrier est une offense à la raison, une infamie pour toute saine astronomie, une bouffonnerie aux yeux de tous mathématiciens."
Roger BACON, 1267.

L'année moyenne du calendrier instauré par Jules César est de 365,25 jours (une année bissextile tous les quatre ans) alors que le Soleil met en réalité environ 365,2422 jours entre deux équinoxes de printemps. C'est ainsi qu'en 1582, lorsque le Pape *Grégoire XIII* réforme le calendrier julien, celui-ci comptait 10 jours d'avance sur le Soleil.
Pour réformer le calendrier, l'objectif est de déterminer une fraction "simple", suffisamment proche de la valeur 365,2422. Cela peut être obtenu par la technique mathématique des "fractions continues".

Calcul du calendrier au Moyen Age :
L'astrolabe est le seul moyen d'avoir une mesure précise du temps.
(Parchemin du XIIIème siècle - BnF)

1- Un exemple : Approximation de π

Nous allons d'abord observer l'algorithme des fractions continues sur un exemple célèbre, celui du nombre π.
1) Vers 500 ap. J.-C., le mathématicien indien *Aryabhata* donne la règle suivante :
"Ajoute quatre à cent, multiplie par huit et ajoute soixante deux mille, le résultat est à pau près la circonférence d'un cercle dont le diamètre est vingt mille".
Quelle fraction obtient-on comme approximation de π, selon cette règle ? ....
....
Comparer avec la valeur de π affichée par votre calculatrice :
....
Cette fraction, sans doute obtenue par approximation du cercle par des polygones, est encore bien compliquée.
Le mathématicien arabe *Al-Khwarizmi* indique, vers 830 ap. J.-C., qu'elle était utilisée par les astronomes mais cite $\frac{22}{7}$ comme approximation plus courante.
Le texte suivant, extrait du traité d'arithmétique du mathématicien français *Bézout* (1739-1783) indique comment obtenir ces fractions plus simples selon la technique des ***fractions continues***.

TRAITÉ
D'ARITHMÉTIQUE,
A L'USAGE
DE LA MARINE ET DE L'ARTILLERIE,
PAR BEZOUT ;
Avec des Notes fort étendues et des Tables de Logarithmes ; pour les Élèves qui se destinent à l'École Polytechnique,
PAR A.-A.-L. REYNAUD,
EXAMINATEUR DES CANDIDATS DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,
Répétiteur à cette École ; Professeur d'analyse à l'École Polymathique et à l'Athénée de Paris ; Professeur et Examinateur du Cadastre.
CINQUIÈME ÉDITION.
PARIS,
Chez COURCIER, Imprimeur-Libraire pour les Mathématiques, quai des Augustins, n° 57.
AN 1810.

115. Lorsqu'une fraction exprimée par des nombres un peu considérables, n'est pas réductible par la méthode donnée (95), et qu'on peut se contenter d'en avoir une valeur approchée, on peut y parvenir par la méthode suivante qui donne alternativement des fractions plus grandes et plus petites que la proposée, mais toujours de plus en plus approchées, ensorte qu'à la dernière opération on retombe sur la fraction proposée. Prenons pour exemple la fraction $\frac{100000}{314159}$, qui, comme on le verra en Géométrie, exprime le rapport très-approché du diamètre à la circonférence; et proposons-nous d'exprimer cette fraction par d'autres fractions, moins exactes à la vérité, mais exprimées par des nombres plus simples.

Divisez le numérateur et le dénominateur par le numérateur; vous aurez $\frac{1}{3\,\frac{14159}{100000}}$. Pour avoir une première valeur approchée, négligez la fraction qui accompagne 3, et vous aurez $\frac{1}{3}$ pour première valeur approchée, mais un peu trop forte.

2) On sait que $\pi \approx 3{,}14159 = \frac{314159}{100000}$. On se propose dans le texte d'obtenir des fractions plus simples approchant $\frac{1}{\pi}$. On part donc de $\frac{100000}{314159}$. Le premier résultat est $\frac{1}{3+\frac{14159}{100000}}$

(**Attention**, le signe + n'était pas indiqué). Comment ce résultat est-il obtenu ?

....

....

....

Pour avoir une valeur plus approchée, divisez le numérateur et le dénominateur de la fraction qui accompagne 3, chacun par le numérateur de cette fraction, et vous aurez $\frac{1}{3\frac{1}{7\frac{887}{14159}}}$; négligez la fraction qui accompagne 7, et vous aurez $\frac{1}{3\frac{1}{7}}$, ou (86) $\frac{1}{\frac{22}{7}}$, ou (109) $\frac{7}{22}$ pour seconde valeur, qui est plus approchée que la première, mais un peu trop faible.

3) Déterminer l'entier *n* tel que $\frac{100000}{14159} = 7 + \frac{n}{14159}$. ....

....

Comment est obtenu $\frac{7}{22}$ (on reconnaît la valeur citée par *Al-Khwarizmi* et déjà utilisée par Archimède) ? ....

....

A l'aide de la calculatrice, comparer $\frac{7}{22}$ et $\frac{1}{\pi}$.

....

Pour avoir une valeur encore plus approchée, divisez le numérateur et le dénominateur de la fraction qui accompagne 7, chacun par le numérateur de cette fraction, vous aurez $\cfrac{1}{3\cfrac{1}{7\cfrac{1}{15\frac{854}{887}}}}$: supprimez la fraction qui accompagne 15, et vous aurez $\cfrac{1}{3\cfrac{1}{7\frac{1}{15}}}$ qui revient à $\frac{106}{333}$, valeur plus approchée, mais un peu trop forte.

Pour avoir une valeur encore plus approchée, divisez les deux termes de la fraction qui accompagne 15 chacun par le numérateur 854, et vous aurez $\cfrac{1}{3\cfrac{1}{7\cfrac{1}{15\cfrac{1}{1\frac{33}{854}}}}}$; négligeant la fraction $\frac{33}{854}$, vous aurez pour valeur plus approchée $\frac{113}{355}$, mais qui est un peu trop faible. On voit, à présent, comment on peut continuer.

4) A l'aide de ce qui précède (les chiffres étant parfois peu lisibles, mieux vaut refaire les calculs !), compléter le tableau suivant :

	Fraction approchant $\frac{1}{\pi}$	Valeur approchée	ordre d'approximation
Etape 1	$\frac{1}{3}$	par excès	à $1{,}6.10^{-2}$ près
Etape 2	$\frac{7}{22}$	par défaut	à $1{,}3.10^{-4}$ près
Etape 3			
Etape 4			

2- Application au calendrier grégorien

1) L'année moyenne étant d'environ 365,2422 jours, on va appliquer l'algorithme précédent en partant de $0{,}2422 = \frac{2422}{10000}$.

Déterminer le nombre entier *a* tel que $\frac{10000}{2422} = 4 + \frac{a}{2422}$.

....

....

....

Montrer que l'approximation de 0,2422 obtenue à la première étape est $\frac{1}{4}$.

....

....

On retrouve ici le système du calendrier julien, prévoyant un jour de plus tous les quatre ans.

2) Montrer qu'à la deuxième étape, on obtient 0,2422 = $\dfrac{1}{4+\dfrac{1}{7+\dfrac{238}{312}}}$.

....
....
....
....
....
....

En négligeant $\dfrac{238}{312}$, quelle est la fraction approchant 0,2422 que l'on obtient ?

....
....
....

3) Réaliser la troisième étape de l'algorithme.

....
....
....
....
....
....
....
....
....

Vous devez avoir obtenu l'approximation $\dfrac{8}{33}$ pour 0,2422.

Quel est l'ordre d'approximation ? ....
....
....

4) La quatrième étape de l'algorithme fournirait la fraction $\dfrac{31}{128}$ qui est inutilement compliquée. On va donc utiliser $\dfrac{8}{33}$, d'autant que 3×33 = 99, presque 100, comme les 100 ans d'un siècle (astucieux !).

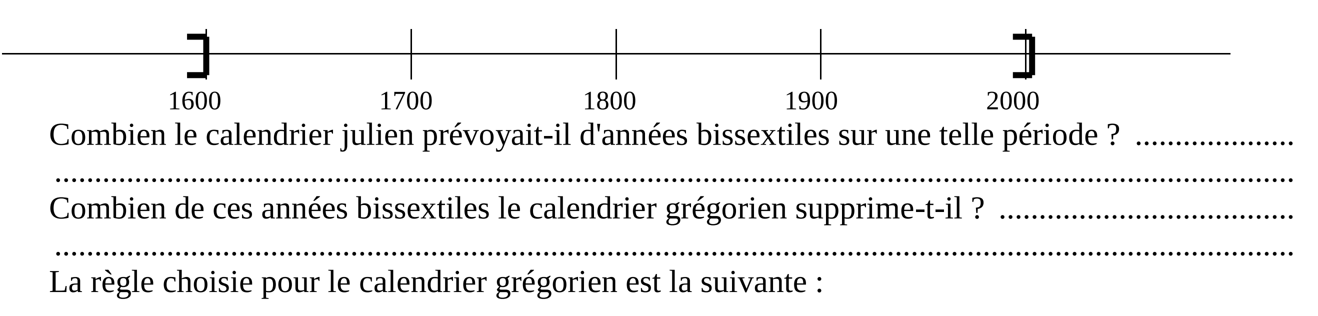
Ainsi l'année compte en moyenne 365 + $\dfrac{8}{33}$ = 365 + $\dfrac{24}{99}$ jours et, en 99 ans, il faut ajouter 24 jours supplémentaires aux 365×99 habituels. Souhaitant conserver le rythme ordinaire d'une année bissextile tous les 4 ans, considérons une période de 400 ans.

Combien de jours supplémentaires faut-il ajouter sur une période de 400 ans (on arrondira au plus près) ?

....
....
....
....

On décide donc que le calendrier grégorien prévoira 24 années bissextiles par siècle plus une année bissextile tous les 400 ans.

5) Considérons la période de 400 ans entre l'an 1600 et l'an 2000 :]1600 ; 2000] (l'an 1600 est exclus pour avoir 400 ans et pas 401).



Combien le calendrier julien prévoyait-il d'années bissextiles sur une telle période ? ....
....
Combien de ces années bissextiles le calendrier grégorien supprime-t-il ? ....
....
La règle choisie pour le calendrier grégorien est la suivante :

Une année est bissextile si elle est *multiple de 4* *sauf* les *années séculaires* (multiples de 100) qui ne sont bissextiles que si elles sont *multiples de 400*.

Quelles sont, d'après cette règle, les 3 années de la période]1600 ; 2000] qui étaient bissextiles dans le calendrier julien et qui ne le sont plus dans le grégorien ?
....
6) Selon la règle précédente, la durée moyenne de l'année grégorienne est donc de $365+\frac{97}{400}$ = 365,2425 jours, au lieu d'environ 365,2422.
Au bout de 10 000 ans, de combien de jours serait le décalage du calendrier grégorien avec le Soleil ? ....

On a donc de la marge, d'autant que sur de telles périodes, il faudrait tenir compte du ralentissement de la vitesse de rotation de la Terre.
7) Dans l'extrait ci-dessous, le mathématicien *Laplace* préconise de supprimer une année bissextile tous les 4000 ans. Ainsi les années 4000 et 8000 ne seraient pas bissextiles. Quelle est la durée moyenne de l'année que permettrait cette modification ? Comparer à la valeur 365,2422 actuellement mesurée.

> Mais si, en suivant l'analogie de ce mode d'intercalation, on supprime encore une bissextile, tous les quatre mille ans, ce qui les réduit à 969 dans cet intervalle; la longueur de l'année sera de $365^{j},\frac{969}{4000}$, ou de 365^{j},2422419, ce qui approche tellement de la longueur 365^{j},242419 déterminée par les observations, que l'on peut négliger la différence, vu la petite incertitude que les observations elles-mêmes laissent sur la vraie longueur de l'année qui d'ailleurs, n'est pas rigoureusement constante.

Laplace – "*Exposition du système du Monde*" – Edition de 1824.

1582 : L'imprimeur *Philippe Daufrie* diffuse en grande série des ***astrolabes en papier cartonné***, pour répondre à une forte demande, suite à la réforme du calendrier. Celle-ci a en effet rendu caduques les indications calendaires figurant sur les astrolabes en laiton existants.

Corrigé et compte-rendu de l'activité "REFORME DU CALENDRIER JULIEN"

1- Approximation de pi

1) La règle d'*Aryabhata* donne $\frac{62832}{20000}$ = 3,1416 à comparer avec les 3,141592654 de la calculatrice.

2) Pour obtenir $\dfrac{1}{3+\dfrac{14159}{100000}}$, on a divisé numérateur et dénominateur par 100000 puis on a fait ressortir la partie entière 3 dans la division de 314159 par 100000.

3) De même, $\dfrac{14159}{100000}=\dfrac{1}{\dfrac{100000}{14159}}$, puis, en faisant ressortir la partie entière : $\dfrac{100000}{14159}=7+\dfrac{887}{14159}$. En négligeant cette dernière fraction, on obtient $\dfrac{1}{3+\dfrac{1}{7}}$ qui, une fois réduit donne $\dfrac{7}{22}$. La calculatrice donne : $\dfrac{7}{22}$ $\approx$ 0,31818 et $\dfrac{1}{\pi}$ $\approx$ 0,31831 (différence $\approx$ 2.10^{-4}).

4) Etape 3 : $\dfrac{106}{333}$ est une valeur approchée par excès de $\dfrac{1}{\pi}$, à 10^{-5} près.

Etape 4 : $\dfrac{113}{355}$ est une valeur approchée par défaut de $\dfrac{1}{\pi}$, à 3.10^{-8} près.

2- Application au calendrier grégorien

1) On a $\dfrac{2422}{10000}=\dfrac{1}{\dfrac{10000}{2422}}=\dfrac{1}{4+\dfrac{312}{2422}}$. D'où la première approximation : 1/4.

2) Etape 2 :

$$\dfrac{1}{4+\dfrac{312}{2422}}=\dfrac{1}{4+\dfrac{1}{\dfrac{2422}{312}}}=\dfrac{1}{4+\dfrac{1}{7+\dfrac{238}{312}}}$$. La deuxième approximation est donc $\dfrac{1}{4+\dfrac{1}{7}}=\dfrac{7}{29}$.

3) Etape 3 :

$$\dfrac{1}{4+\dfrac{1}{7+\dfrac{238}{312}}}=\dfrac{1}{4+\dfrac{1}{7+\dfrac{1}{\dfrac{312}{238}}}}=\dfrac{1}{4+\dfrac{1}{7+\dfrac{1}{1+\dfrac{74}{238}}}}$$. D'où la troisième approximation : $\dfrac{1}{4+\dfrac{1}{7+\dfrac{1}{1}}}=\dfrac{8}{33}$.

L'ordre d'approximation est de $\dfrac{8}{33}$ - 0,2422 $\approx$ $2{,}3.10^{-4}$.

4) Puisque l'on doit ajouter 24 jours pour 99 ans, proportionnellement, on ajoutera $400 \times \dfrac{24}{99} \approx$ 96,97 soit 97 jours sur 400 ans.

5) Sur la période]1600 ; 2000], le calendrier julien prévoyait 4 × 25 = 100 années bissextiles. Le calendrier grégorien en supprime donc 3. D'après la règle du calendrier grégorien, ces 3 années sont 1700, 1800 et 1900, qui ne sont pas bissextiles, mais 2000 le reste.

6) On a $\dfrac{97}{400}=0{,}2425$ et 0,2425 – 0,2422 = 0,0003. Au bout de 10 000 ans, le calendrier grégorien aura seulement : 0,0003 × 10 000 = 3 jours d'avance sur le Soleil, sans tenir compte des variations des "constantes" astronomiques sur cette période.

7) Avec la correction de *Laplace*, la durée moyenne de l'année grégorienne devient $365+\dfrac{969}{4000}\approx 365{,}24224$.



PARABOLE ET DECALAGE DE L'EQUINOXE DANS LE CALENDRIER GREGORIEN

L'année tropique (temps entre deux équinoxes de printemps successifs) vaut environ **365,2422** jours.
Avec une année bissextile tous les quatre ans, l'année du ***calendrier julien*** (instauré en 46 av. J.-C. par Jules César) vaut, en moyenne, **365,25** jours.
Pour corriger ce défaut, le Pape Grégoire XIII supprime, à partir en 1582, trois années bissextiles tous les 400 ans. L'année du ***calendrier grégorien*** vaut ainsi, en moyenne, $365{,}25 - \frac{3}{400}$ **= 365,2425** jours.
A ce degré de précision, on doit, pour étudier la dérive du calendrier grégorien, tenir compte du fait que l'année tropique diminue et que la durée du jour augmente.

Objectifs

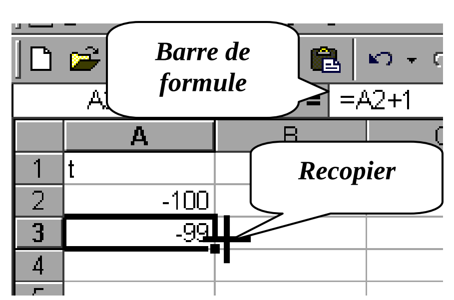
- Utiliser le tableur pour calculer, puis cumuler les écarts du calendrier.
- Construire et étudier des courbes, en particulier une parabole.

1 . ECART ANNEE TROPIQUE / ANNEE GREGORIENNE

Si l'on note t le ***temps compté en siècles depuis l'année 2000***, on a les durées suivantes (comptées en jours de 2000) :

- Durée de l'année tropique : $T(t) = 365{,}24218626 - 616.10^{-8}\, t$.
- Durée du jour : $J(t) = 1 + 1{,}74.10^{-8}\, t$.
- Durée de l'année grégorienne : $G(t) = 365{,}2425 \times J(t)$.

Lancer Excel®.



Dans la cellule A1, taper "t".
Dans la cellule A2, entrer la valeur –100.
Dans la cellule A3, entrer la ***formule*** : =A2+1
puis faire ***ENTREE***. (la formule doit commencer par le signe =, elle s'inscrit dans la ***Barre de formule***).
Approcher le pointeur de la souris du carré noir situé dans le coin inférieur droit de la cellule A3. Celui-ci se transforme en une croix noire, faire alors glisser, en maintenant le bouton gauche enfoncé, pour ***recopier*** jusqu'à la cellule A202.
Dans la cellule A202, doit figurer la valeur 100.
Remonter, à l'aide de l'ascenseur, en B1 et taper "T".
En B2, ***entrer*** la ***formule*** : =365,24218626-616E-8*A2
puis, comme précédemment, ***recopier*** le contenu de la cellule B2 jusqu'en B202.
Remonter, à l'aide de l'ascenseur, en C1 et taper "G".
En C2, ***entrer*** la ***formule*** : =365,2425*(1+1,74E-8*A2)
puis ***recopier*** le contenu de la cellule C2 jusqu'en C202.
Remonter, à l'aide de l'ascenseur, en D1 et taper "G – T".

En D2, entrer la ***formule*** : =C2-B2 puis ***recopier*** le contenu de la cellule D2 jusqu'en D202.

Pour visualiser l'évolution, dans le temps, de l'année tropique et de l'année grégorienne, vous allez représenter les fonctions *T* et *G* dans un repère.

Cliquer sur l'icône de l'***assistant graphique***.

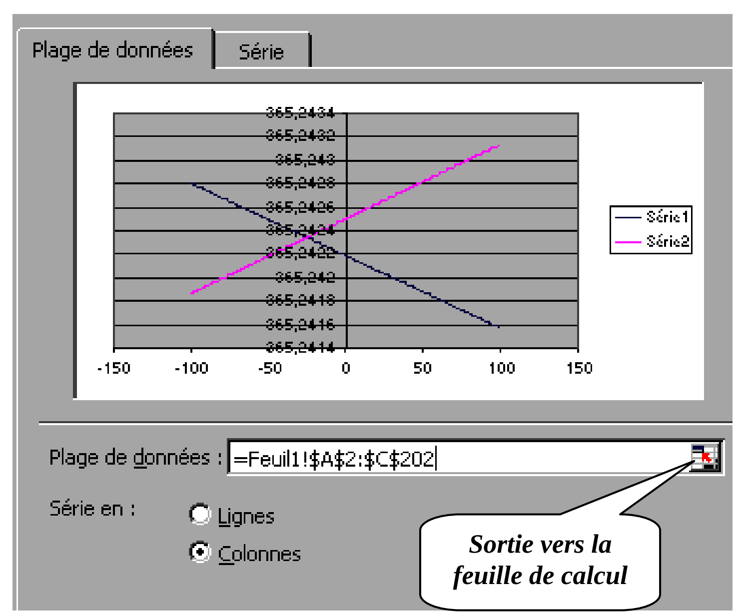
Etape 1 sur 4 :

Choisir le type ***Nuages de points*** et le sous-type ***avec lissage sans marquage des données***. Cliquer sur ***Suivant***.

Etape 2 sur 4 :

Sortir à l'aide de l'icône vers la feuille de calcul, pour ***sélectionner*** les cellules de A2 à C202 (on clique, avec le bouton gauche de la souris en A2, puis on glisse, sans relâcher jusqu'en C202, alors, on relâche).

Revenir dans la boîte de dialogue, en cliquant sur l'icône .



Choisir ***Série en colonne*** et cliquer sur ***Suivant***.

Etape 3 sur 4 :

Dans l'onglet ***Titres***, inscrire, pour ***titre du graphique*** : "Années tropique et grégorienne" ;

axe des (X) : "Temps en siècles depuis 2000"

axe des (Y) : "Durée de l'année en jours 2000".

Dans l'onglet ***Quadrillage***, sélectionner ***Quadrillage principal*** pour les deux axes.

Dans l'onglet ***Légende***, désélectionner l'option ***Afficher la légende***.

Cliquer sur ***Suivant***.

Etape 4 sur 4 :

Sélectionner ***Placer le graphique • sur une nouvelle feuille*** puis cliquer sur ***Terminer***.

Cliquer, avec le bouton *droit* de la souris, sur l'axe des abscisses (nommé par Excel "axe des ordonnées (X)" !), puis sur ***Format de l'axe...***

Dans l'onglet ***Echelle***, entrer pour minimum, – 100, et pour maximum, 100 , puis cliquer sur ***OK***.

Représenter graphiquement la fonction $G – T$:
Etape 1/4 : Nuage de points avec lissage sans marquage des données.
Etape 2/4 : dans ***Plage de données***, sortir sélectionner les cellules de A2 à A202, appuyer sur la touche ***CTRL***, et sélectionner, en même temps, les cellules D202 à D2 puis revenir dans la boîte de dialogue de l'assistant graphique.
Etape 3/4 : Donner des ***Titres***, sélectionner le ***Quadrillage principal***.
Etape 4/4 : • sur une nouvelle feuille.

– Compléter la feuille réponse.

2 . DECALAGE DE L'EQUINOXE DANS LE CALENDRIER GREGORIEN

A sa création en 1582, le calendrier grégorien est réglé sur le Soleil, avec un équinoxe de printemps fixé au 21 mars. Le décalage, à ce moment (t = – 4,18), du calendrier sur le Soleil est donc, par définition, nul.
Notons $D(t)$ le décalage du 21 mars du calendrier grégorien par rapport à l'équinoxe de printemps (décalage exprimé en jours 2000, en fonction de t en siècles depuis 2000). Il s'agit donc de cumuler les valeurs $G – T$, inscrites dans la colonne D.

Sur la ***Feuil1***, taper en E1 : "D".
En E98 (correspondant à t = – 4), entrer la valeur 0.
Un siècle plus tard (pour t = – 3), le décalage vaut cent fois l'écart annuel entre l'année tropique et l'année grégorienne. puis ces résultats s'accumulent.
Dans la cellule E99, entrer la ***formule*** : =E98+100*D99 puis ***recopier*** vers le bas jusqu'en E202.
Dans la cellule E97, entrer la ***formule*** : =E98–100*D97 puis ***recopier*** vers le haut jusqu'en E2.

Représenter la courbe de la fonction $t \mapsto D(t)$:
Etape 1/4 : Nuage de points avec lissage sans marquage des données.
Etape 2/4 : Plage de données : sélection de A2 à A202 et (appuyer en même temps sur ***CTRL***) de E202 à E2.
Etape 3/4 : Donner des ***Titres***, sélectionner le ***Quadrillage principal***.
Etape 4/4 : • sur une nouvelle feuille.

Sachant que la vitesse de décalage, $G – T$, est représentée par une droite, on montre que le décalage D est représenté par une parabole. Excel peut en déterminer une équation approchée, de la façon suivante :
Cliquer, avec le bouton *droit* de la souris, sur la courbe, puis sur ***Ajouter une courbe de tendance...***
Dans l'onglet ***Type***, choisir ***Polynomiale ordre 2***.
Dans l'onglet ***Options***, cocher ***Afficher l'équation sur le graphique***.
Puis, cliquer sur ***OK***.

– Compléter la feuille réponse.

– FEUILLE REPONSE

NOMS : ....

1 . ECART ANNEE TROPIQUE / ANNEE GREGORIENNE

A l'aide du graphique représentant les fonctions *T* et *G*, indiquer, en approchant le pointeur de la souris, pour quelle valeur de *t*, l'année tropique coïncidait avec l'année grégorienne :

....

....

Quelle équation faudrait-il résoudre pour calculer cette valeur de *t* ? ....

....

....

Comment confirmer, à l'aide des résultats de la feuille de calcul (Feuil1), la valeur de *t*, lue précédemment sur le graphique ? ....

....

....

....

....

A quelle année, avant J.-C., cette valeur de *t* correspond-elle ? ....

....

2 . DECALAGE DE L'EQUINOXE DANS LE CALENDRIER GREGORIEN

Quel sera le décalage de l'équinoxe, par rapport au calendrier grégorien, dans 100 siècles ?

....

....

Pour quelle abscisse *t* la parabole présente-t-elle un minimum ? ....

....

Comparer avec la valeur obtenue au 1. ? ....

....

Pour quelles valeurs de *t* a-t-on un décalage nul (lire sur le graphique, contrôler sur la feuille de calcul) ? ....

....

....

De quelle équation ces valeurs de *t* sont-elles solution ? ....

....

En utilisant l'équation de la parabole fournie par le logiciel, calculer le décalage de l'équinoxe dans 500 siècles.

....

....

....

....

Imprimer les graphiques ou enregistrer votre fichier sur disquette

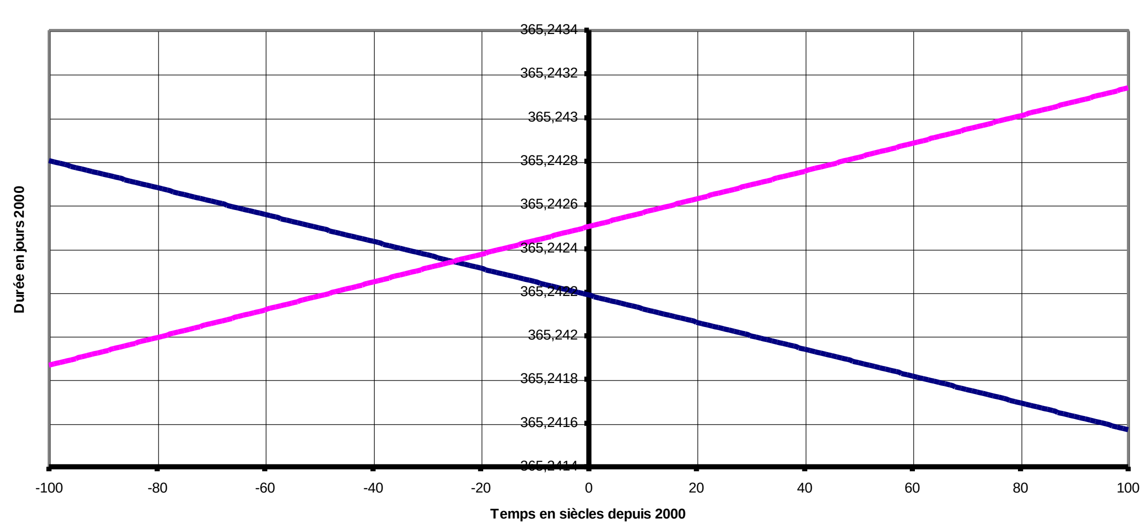
Corrigé et compte-rendu de l'activité
"PARABOLE ET DECALAGE DE L'EQUINOXE DANS LE CALENDRIER GREGORIEN"

CORRIGE

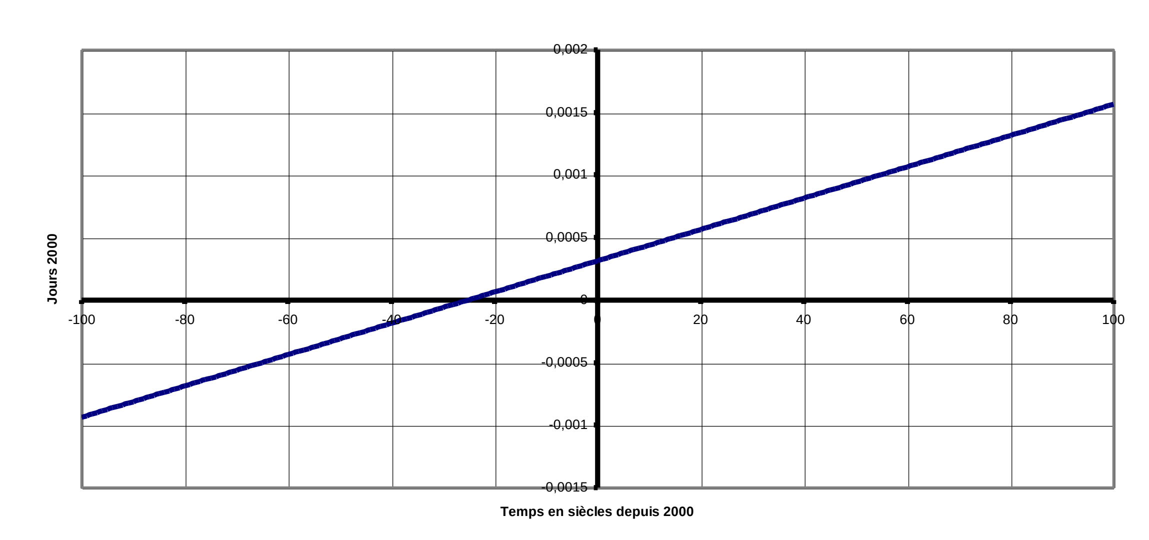
1 . ECART ANNEE TROPIQUE / ANNEE GREGORIENNE

On obtient le graphique ci-dessous, où il apparaît que l'on avait coïncidence entre l'année tropique et l'année grégorienne, il y a environ 25 siècles avant 2000 (valeur de *t* obtenue en pointant le point d'intersection), soit aux alentours de 500 av. J.-C.





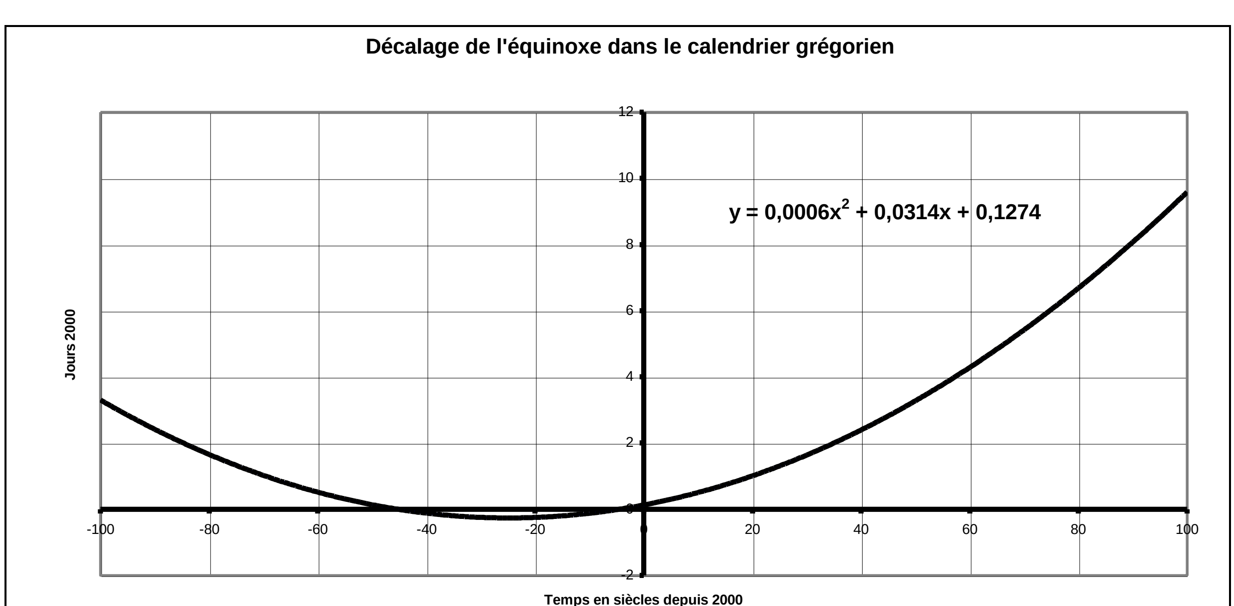
La résolution de l'équation $T(t) = G(t)$ donnerait $t \approx -25{,}08$.
On vérifie sur la feuille de calcul que la cellule D77, correspondant à $t = -25$, contient la valeur la plus faible : 8,5951 E–07.
Pour la différence $G - T$, écart de durée entre l'année grégorienne et l'année tropique, on obtient le graphique suivant :



La fonction $G - T$ correspond à la vitesse de décalage de l'équinoxe (par exemple) dans le calendrier grégorien.

2 . DECALAGE DE L'EQUINOXE DANS LE CALENDRIER GREGORIEN

Sur le graphique, on obtient la parabole suivante.



D'après la feuille de calcul, ***le décalage de l'équinoxe, 100 siècles après 2000 (!), sera d'environ 9 jours et demi***.
Le minimum de la parabole correspond à la valeur $t = -25$ pour laquelle l'écart $G - T$ est nul. Le décalage de l'équinoxe est nul pour $t \approx -50$ (soit 50 siècles avant 2000) et $t \approx -4$ (création du calendrier). Ces valeurs, lues sur la courbe, peuvent se contrôler sur la feuille de calcul et correspondent à l'équation $D(t) = 0$ (changement de cadre).
D'après l'équation fournie par Excel, dans $t = 500$ siècles, le décalage serait de :
$0{,}0006t^2 + 0{,}0314t + 0{,}1274 \approx 165$ jours. Mais c'est faire preuve d'un bel optimisme quant au modèle utilisé et à l'avenir de notre espèce.

Remarques mathématiques et astronomiques

- La "courbe de tendance" est calculée, par Excel, selon la méthode des moindres carrés.
- Le calcul exact donne :

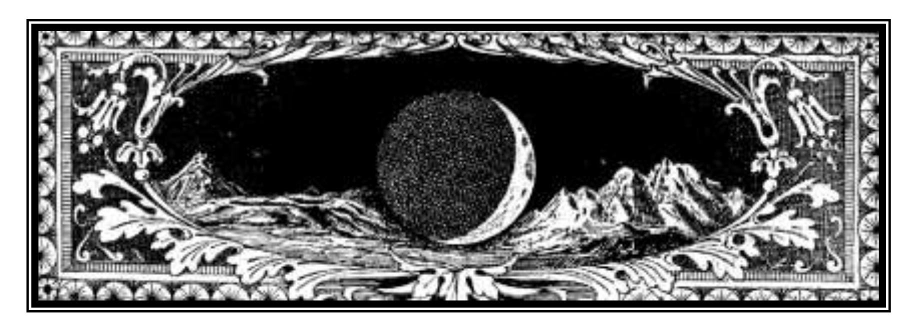
$$D(t) = 100 \times \int_{-4}^{t} G - T(x)\,\mathrm{d}x = 100 \times \int_{-4}^{t} 1251.10^{-8}x + 3{,}1374.10^{-4}\,\mathrm{d}x$$

soit $D(t) = 0{,}000626t^2 + 0{,}031374t + 0{,}115488$.

- La diminution de l'année tropique serait due aux variations du mouvement apparent du Soleil, causées par le déplacement du centre de gravité du système Terre-Lune (c'est ce système qui décrit une trajectoire elliptique autour du Soleil).
- L'augmentation de la durée du jour est due au frottement des marées, qui dissipe l'énergie cinétique de rotation de la Terre sur elle même.
- Finalement, la recherche d'une régularité ultime en astronomie est vaine. D'une part, nous ne sommes pas à l'abri de variations imprévisibles (mouvements internes de la Terre, de l'atmosphère, apparition d'une grosse comète...), d'autre part, à l'échelle de millions d'années, apparaissent les phénomènes chaotiques du système solaire (évolution de l'excentricité de l'orbite terrestre). Sur ce sujet, on consultera avec profit l'ouvrage d'***Ivars Peterson***, ***"Le chaos dans le système solaire"*** – Belin 1995 p. 247.

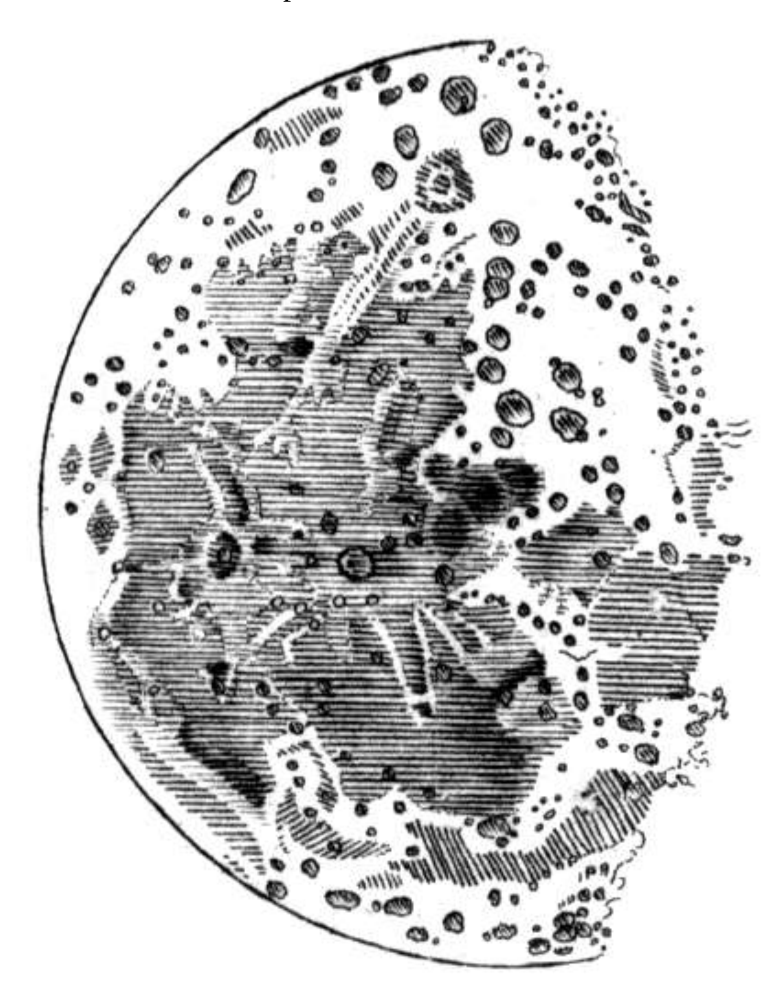
COMPTE-RENDU DE L'ACTIVITE

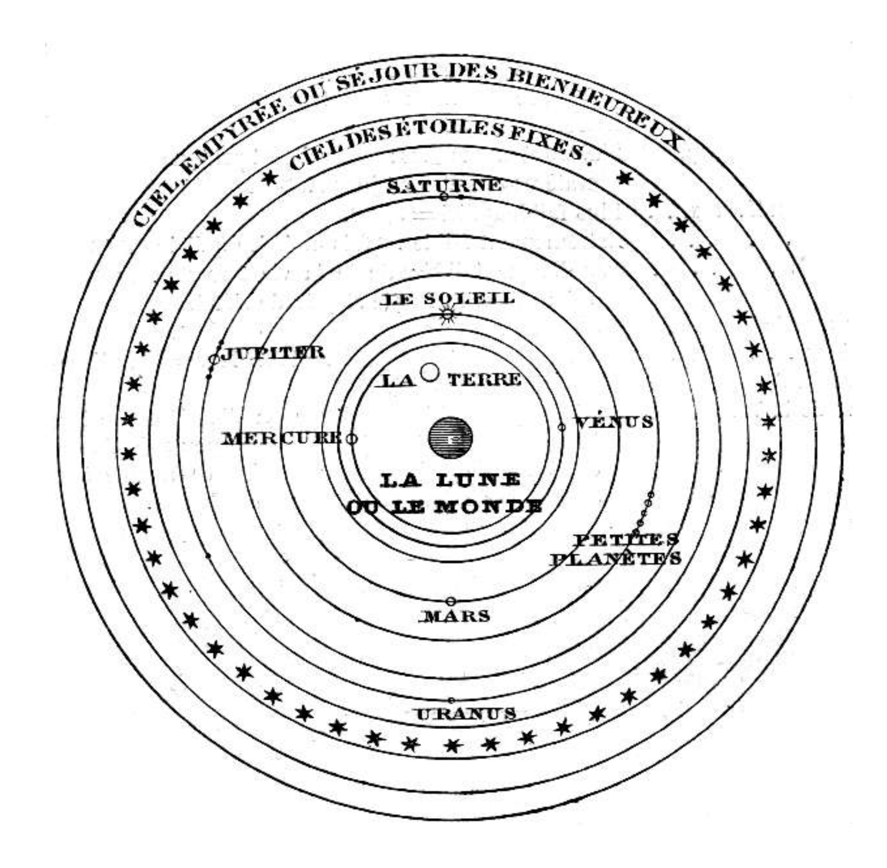
L'activité a eu lieu en salle informatique, durant 1h30, en demi-classe, à maximum deux élèves par machine. Ce travail s'est déroulé alors que les élèves effectuaient, en histoire, un module sur la réforme du calendrier julien.
Il s'agissait du premier T.P. sur Excel, et tous n'ont pas terminé : 78% des groupes est parvenu à faire les trois graphiques demandés et 61% a trouvé le décalage de 9,5 jours pour 100 siècles. L'intérêt de l'ordinateur, outre ses capacités de calcul (et l'attrait de la nouveauté), réside dans les nombreux aller-retour entre les graphiques et les calculs (changements de cadres).



LE VOYAGE DANS LA LUNE
DE *CYRANO DE BERGERAC*

Dans l'esprit des nouveaux programmes de seconde, et de la pratique de la lecture cursive, on a imaginé faire lire aux élèves de seconde l'œuvre de *Cyrano de Bergerac*, qui présente de nombreuses difficultés, mais qui a également l'avantage de poser des problèmes scientifiques particulièrement liés au sujet de l'astrolabe. Cette lecture, qui doit laisser une certaine autonomie aux élèves, ne pouvait pas, compte tenu de la difficulté de l'œuvre, ne pas être guidée. C'est pourquoi on a construit ce tableau qui, en plus des consignes et des recherches qu'il impose à l'élève, doit l'aider à se repérer dans le texte.





Le "système du Monde" des habitants de la Lune



Un Habitant du païs
de Musique.

GUIDE DE LECTURE TABULAIRE DE *VOYAGE DANS LA LUNE*

EVENEMENTS : promenade au clair de lune, séjour au Canada (Nouvelle France), séjour au paradis terrestre

EVENEMENTS	PAGES	ACTION	CITATIONS	RECHERCHES
Promenade au clair de lune	**31-32**	• **Retour après neuf heures du soir et discussion avec des amis.** • **Retraite à la campagne.** **PREMIERE TENTATIVE DE VOL VERS LA LUNE**	***J'étais de retour à mon logis[…]quand sur ma table je trouvais un livre ouvert que je n'y avais point mis. […]voici comme je me donnais au ciel.***	
Séjour au Canada	**33-34** **34-39** **39-41**	• **Atterrissage** • **Conversation avec M. de Montmagny sur immobilité du soleil et mvt de la terre.** **DEUXIEME TENTATIVE (bas de la p.41)**	***[…]il serait aussi ridicule de croire que ce grand corps lumineux tournât autour d'un point dont il n'a que faire, que de s'imaginer quand nous voyons une alouette rôtie, qu'on a, pour la cuire, tourné la cheminée alentour.***	**Quelles théories scientifiques, très discutées au XVII ème siècle, sont en cause ici ? Expliquez-les.**
Séjour au Paradis terrestre	41 42-43 44 44-50 51 52 53	• Chute sur *l'Arbre de Vie* • Description du Paradis (cliché littéraire) • Rencontre d'Elie • *Relecture* de certains épisodes bibliques (Elie = narrateur / récit enchâssé n° 1) • Elie raconte au narrateur de notre roman son arrivée au paradis : récit enchâssé n° 2 (rencontre d'un ange) • Retour au récit premier : rencontre d'Enoch que les 2 héros abandonnent car *il [doit] faire oraison[…].* • Reprise de *l'histoire des Assomptions* (52-53) : dispute sur celle de Saint Jean, Elie abandonne alors le narrateur qui croque la pomme de *l'Arbre de Savoir* ms il omet d'en ôter l'écorce…	A compléter :	Recherches au CDI : retrouver les épisodes de la *Genèse* auxquels il est fait référence ici.

GUIDE DE LECTURE TABULAIRE DE *VOYAGE DANS LA LUNE* – page 2

EVENEMENT : **Le séjour sur la lune**

PAGES	ACTION	CITATIONS	RECHERCHES
54 **55** **55-58** **58-59** **59-60**	• **Arrivée sur la lune (à partir du 2ème paragraphe p.54)** **SEJOUR SUR LA LUNE :** • **Narrateur confié à un *bateleur* – Rencontre du *Démon de Socrate*** • **Histoire du *Démon*** • **Discussion sur les différents mondes** • **Définition des *deux idiomes* (bas de p.59) – Enlèvement du narrateur**	***Je restai bien surpris de me voir tout seul au milieu d'un pays que je ne connaissais pas.***	
61 **62-65** **65** **66** 67-70 70-73 74 75 76-78 **79** **80-81**	• **Le Démon explique comment il a revêt l'aspect d'un jeune homme.** • **Exposé de quelques us et coutumes de la lune** • **Arrivée au palais du roi** • **Rencontre de l'espagnol (son *mâle*) (jusqu'au début de la p.67)** • Discours de l'Espagnol sur la notion de vide dans la nature • **2ème discours de l'espagnol éclairant sa théorie du *tout est dans tout* (du bas de la p. 70 jusqu'à la fin du 1er § de la p. 73)** • Narrateur assimilé à un oiseau (à cause de ses 2 pattes) est mis en cage • Les principes d'Aristote ne parviennent pas à convaincre les opposants du narrateur • Développement sur la guerre • **Nouvelle interrogation *sur quelques points de physique* (à partir du 2ème § de la p.79)** • **Plaidoirie d'un inconnu : le narrateur est *[…]dorénavant censé homme[…]* (p.81). Il doit renier ses principes et faire une déclaration publique. (jusqu'au bas de la p.81)**	***[…]un quart d'heure après le Roi commanda aux gardeurs de singes de nous ramener, avec ordre exprès de nous faire coucher ensemble, l'Espagnol et moi, pour faire en son royaume multiplier notre espèce.*** ***[…]dans l'eau par exemple, il y a du feu ; dedans le feu, de l'eau ; dedans l'air, de la terre, et dedans la terre, de l'air.*** ***Je fus donc interrogé, en présence de force courtisans sur qqes points de physique.*** ***[…]je commençais à croire que leur monde n'était qu'une lune.*** ***Peuple, je vous déclare que cette lune ici n'est pas une lune, mais un monde ; et que ce monde de là-bas n'est point un monde, mais une lune. Tel est ce que les Prêtres trouvent bon que vous croyiez.***	**Quelles sont les 4 coutumes présentées ici ?** **Sur quel procédé le comique repose-t-il ? (fonder l'analyse à partir de la page 62)** **Montrez l'absurdité du raisonnement de l'Espagnol (p.70-73).** Quels sont les principaux principes aristotéliciens ? **A quel fait historique et scientifique cet épisode fait-il référence ?**

GUIDE DE LECTURE TABULAIRE DE *VOYAGE DANS LA LUNE* – page 3

EVENEMENT : **Le séjour sur la lune** (suite)

PAGES	ACTION	CITATIONS	RECHERCHES
82 **83-86** 87 88 89 89-91 91 92-94 94 95	• Chez le *Démon* : souper avec *2 professeurs* et le *jeune garçon* de la maison : *je me suis logé céans pour épier les occasions de l'instruire* dit le Démon du jeune garçon. • **Discours du Démon sur inversion des rôles parents/enfants (jusqu'à la fin du 1er paragraphe de la p.86)** • Intervention du *fils de la maison* • Intervention du Démon sur *la sagesse de Dieu* • Un des 2 philosophes dîne à part car *il ne goûte point[…] de l'odeur de viande, ni celle des herbes, si elles ne sont mortes d'elles-mêmes*. • Développement du Démon à ce sujet • Retour du philosophe sorti pour dîner • Discours de ce philosophe sur les *mondes infinis* • 2ème philosophe s'apprête à donner *l'explication de l'origine éternelle du monde* • Fin de cette *burlesque pédagogie* • Exposé du fils de la maison sur voyage des maisons et des murailles	A compléter :	
96-102 103 **104-105** 105 **107** 108	• 2ème philosophe expose sa théorie sur *l'origine éternelle du monde* : -p.100 : fonctionnement de l'ouïe -p.101 : fonctionnement du toucher -p.102 : fonctionnement du goût et de l'odorat • Séparation des convives – Nuit Au lever, le Démon apprend au narrateur des nouvelles de sa situation et il lui laisse un livre pour s'occuper pendant son absence. • **Description des livres «lunaires » (préfiguration surprenante du phonographe) (du 3ème paragraphe de la p.104 jusqu'au 2ème de la p.105)** • Rencontre *d'une troupe assez nombreuse de personnes tristes* • Exposé d'un «lunien » sur les différentes sépultures • **Le narrateur continue sa promenade mais il rentre tardivement chez son hôte pour ne pas avoir compris comment les «luniens » lui ont enseigné l'heure qu'il était. (à partir du 3ème § de la p.107)** • Arrivée d'un homme qui lui apprend qu'un mathématicien propose une solution pour établir des liaisons terre/lune	A compléter :	

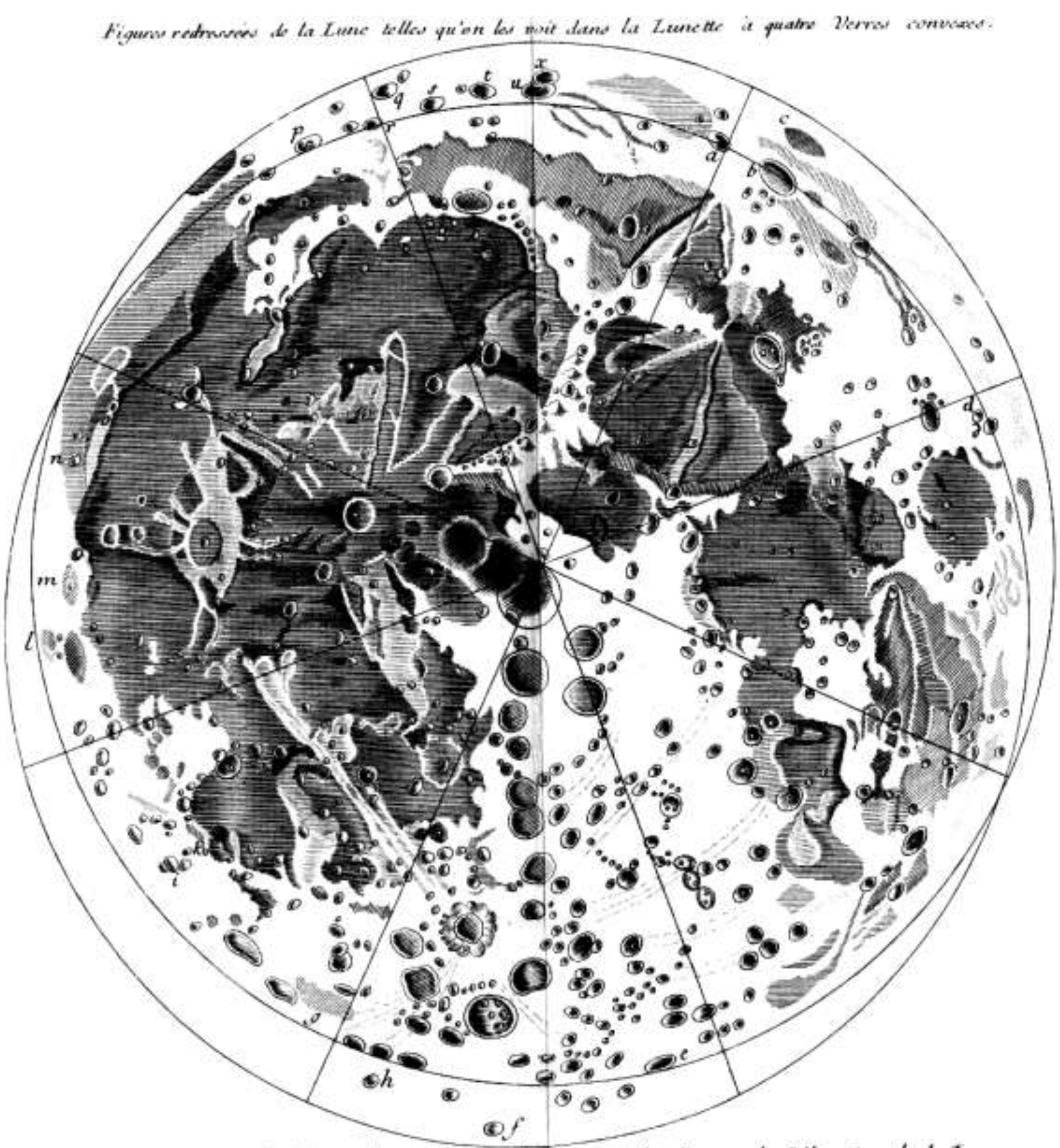
GUIDE DE LECTURE TABULAIRE DE *VOYAGE DANS LA LUNE* – page 4

EVENEMENT : **Le séjour sur la lune** (suite)

PAGES	ACTION	CITATIONS	RECHERCHES
108-109 **109** **110-111** 111-116 **116** **117** **118**	Pendant le dîner, explications à propos d'une ceinture faites de pendentifs représentant des *parties honteuses* • **Promenade au jardin : discussion sur immortalité de l'âme et la différence à ce propos humains/animaux. Le narrateur ébranlé par le raisonnement de son hôte (p.110), va demander conseil à son démon. (à partir du 4ème § de la p.109)** • **Développement du Démon : pas de clivage humains/animaux (jusqu'au haut de la p. 111)** • Développement sur « miracles » et immortalité de l'âme(cf. déjà p. 109) puis sur existence de Dieu • **« décollage » (à partir du bas de la p.116)** • **Atterrissage en Italie** • **Retour en France**	A compléter :	

(i) ***Les passages signalés par des caractères gras sont à lire plus attentivement***.

Figures redressées de la Lune telles qu'on les voit dans la Lunette à quatre Verres convexes.



On a rapporté ici les Noms des Taches qui ont servi à observer la Libration de la Lune.

TABLE DES ILLUSTRATIONS

UNE BIBLIOGRAPHIE

⇨ SUR L'ASTROLABE

• **ASTROLABICA n°5** - Institut du Monde Arabe Paris 1989.
• **CIEL ET ESPACE** – numéro de février 1998 – ***"Les secrets de l'astrolabe"***.
• **R. D'HOLLANDER** - ***"L'astrolabe - Histoire, théorie et pratique"*** - Institut Océanographique éditeur 1999.
• **Fiche pédagogique du C.L.E.A. :** ***Astrolabe*** (niveau Lycée) – Centre de Liaison Enseignants Astronomes. Renseignements au : C.L.E.A.- Laboratoire d'Astronomie - bâtiment 470 - Université Paris Sud - 91405 ORSAY Cedex.
• ***"L'apparence des cieux –Astronomie et Astrologie en terre d'Islam"*** – Les dossiers du musée du **LOUVRE** n°54 – Editions de la Réunion des musées nationaux, 1998.
• **L'Astrolabe** – Revue du **PALAIS DE LA DECOUVERTE** – Vol. 23 n°230 – juil.-août-sept. 1995.

• **R. RASHED** (direction) - ***"Histoire des sciences arabes"*** (tome 1 principalement) – Le Seuil 1997.
• **J.N. TARDY** - ***"Astrolabes - Cartes du ciel"*** - Edisud 1999.
• **C. VASSARD** - ***"L'astrolabe"*** - Revue Repères inter-IREM n° 37 - oct 1999.

⇨ SUR LES MESURES ET REPRESENTATIONS DE L'UNIVERS

• **Giordano BRUNO** - ***"L'infini, l'univers et les mondes"*** - Berg International 1987.
• **D.E. DUNCAN** - ***"Le temps conté"*** - Nil éditions 1999.
• **M. GRENET** - ***"La passion des astres au XVII[e] siècle - de l'astrologie à l'astronomie"*** - Hachette 1994.
• **HISTOIRE DE PROBLEMES ET HISTOIRE DES MATHEMATIQUES** - IREM/Ellipse 1993.
• **E.** et **F.B. HUYGHE** - ***"Images du Monde"*** - J.C. Lattès 1999.
• **A. KOYRE** - ***"Du monde clos à l'univers infini"*** - coll. Tel - Gallimard 1973.
• **M. LACHIEZE-REY** et **J.P. LUMLINET** - ***"Figures du ciel - de l'harmonie des sphères à la conquète spatiale"*** - Seuil/BnF 1998.
• **J. LEFORT** - ***"La saga des calendriers"*** - Belin 1999.
• **J.P. MAURY** - ***"Comment la terre devint ronde"*** - Découvertes Gallimard n°52 - ***"Galilée, le messager des étoiles"*** - Découvertes Gallimard n°10 - ***"Newton et la mécanique céleste"*** - Découvertes Gallimard n°91.
• **P. ROSSI** - ***"La naissance de la science moderne en Europe"*** - Seuil 1999.
• **A. SIMAAN** et **J. FONTAINE** - ***"L'image du Monde des babyloniens à Newton"*** - ADAPT Editions 1999.
• **TANGENTE** hors série n°5 - ***"Terre et espace"*** - Ellipse/Archimède 1998.
• **P. THUILLIER** - ***"La revanche des sorcières - L'irrationnel et la pensée scientifique"*** - Belin 1997.
• **J.P. VERDET** - ***"Une histoire de l'astronomie"*** - Points sciences S62 - Seuil 1990 - ***"Penser l'Univers"*** - Découvertes/Texto Gallimard n°2 - 1998.

DES SITES WEB A VISITER AUTOUR DU THEME DE L'ASTROLABE

Notre site :
http://www.ac-creteil.fr/branlycreteil/page7.html

Quelques sites traitant de l'astrolabe, d'histoire des sciences ou d'astronomie :

http://www.cnam.fr/museum/collections/index.html
Musée des sciences du Conservatoire National des Arts et Métiers à *Paris* : visite virtuelle, instruments scientifiques anciens.
http://www.mhs.ox.ac.uk/
Musée d'histoire des sciences d'*Oxford* : visite virtuelle, nombreuses ressources.
http://www.imss.fi.it/index.html
Musée d'histoire des sciences de *Florence* : visite virtuelle de la salle des instruments de Galilée...
http://www.bo.astro.it:80/dip/Museum/english/
Museo della specola de *Bologne* : images, dans le catalogue en ligne du musée, d'astrolabes et d'instruments astronomiques.
http://www.adlerplanetarium.org/99/our_col/in_seth.htm

Planétarium de *Chicago* : visite virtuelle de la collection d'instruments anciens dont des astrolabes planisphériques et de marine.
http://www.astrolabes.org
Nombreux liens, bibliographie en anglais.
http://members.aol.com/McNelis/medsci_index.html
Nombreuses ressources et liens en histoire des sciences médiévales.
http://www.bnf.fr/web-bnf/expos/ciel/index.htm
Bibliothèque nationale de France, exposition "Figures du Ciel".
http://art-bin.com/art/oastro.html
Le traité médiéval de Geoffrey Chancer "Treatise on the Astrolabe" de 1391, en vieil anglais (comprenne qui pourra) mais "on line".
http://www.bdl.fr
Ephémérides du bureau des longitudes.
http:www.seds.org/messier/
De belles images de l'espace (objets du catalogue Messier).
http://oposite.stsci.edu/pubinfo/pictures.html
Image du télescope Hubble.
http://www.lhl.lib.mo.us/pubserv/hos/stars/welcome.htm
Exposition virtuelle des splendides atlas célestes de la Lind Hall Library.

